



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

교차로 접근로의 통행밀도를 고려한 가로변  
버스정류장과 신호교차로 간 적정 이격 거리 산정

Estimation of Appropriate Separation Distance between  
Road-side Bus Stop and Signalized Intersection  
Considering Traffic Density of Intersection Approach

2014년 2월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

박 세 환

교차로 접근로의 통행밀도를 고려한 가로변  
버스정류장과 신호교차로 간 적정 이격 거리 산정  
Estimation of Appropriate Separation Distance between Road-side Bus  
Stop and Signalized Intersection Considering Traffic Density of  
Intersection Approach

지도교수 고 승 영

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2013년 10월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

박 세 환

박세환의 공학석사 학위논문을 인준함.

2013년 12월

위 원 장 (인)

부 위 원 장 (인)

위 원 (인)

## 국문초록

이 연구는 신호교차로 인근 노변 정류장에서 발생하는 버스 차로변경을 다루고 있다. 연구의 목적은 다중회귀분석을 이용한 버스 차로변경 소요시간 모형을 구축하고 이를 활용하여 정류장 적정 이격 거리를 산정하는 것이다.

이를 위해 이 연구는 서울시 신호교차로 10개소에서 발생한 272건의 버스 차로 변경 자료와 통계 프로그램인 R i386 3.0.2를 이용하였다. 또한 구축한 모형에 비첨두시 값을 적용하여 적정 이격 거리를 산정 하였다.

주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 버스 차로변경 시간과 버스의 차로변경 속도, 이격 거리는 음의 선형 관계를 갖는 것으로 분석 되었다. 둘째, 버스의 차로 변경 시간은 주기 종료 시의 구간 밀도와 버스의 1회 차로 변경 당 횡단 차로수의 증가에 따라 지수함수 형태로 증가 하는 것으로 분석되었다. 셋째, 개발된 모형에 비첨두시의 버스 차로 변경 시간 및 차로 변경 속도, 밀도를 고정한 후에 적정 이격 거리를 추정한 결과, 적정 이격 거리는 2차로 도로 273m에서 1차로 수 증가 마다 약 142m 증가하였다.

주요어: 버스 차로변경, 버스정류장 위치, 단속류, 다중선형회귀

학 번: 2012-20902

## <차례>

<b>제1장 서론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 의의와 구성 .....	4
<b>제2장 기존연구고찰</b> .....	<b>6</b>
2.1 간격수락에 관한 연구 .....	6
2.2 연속류 차로변경에 관한 연구 .....	10
2.3 단속류 차로변경에 관한 연구 .....	10
2.4 교차로 지체 산정에 관한 연구 .....	12
2.5 버스정류장에 대한 국내 기준 .....	13
<b>제3장 분석 방법론</b> .....	<b>16</b>
3.1 분석방법 .....	16
3.2 회귀모형 .....	16
3.3 분석절차 .....	18
<b>제4장 모형 구축 및 분석</b> .....	<b>19</b>
4.1 분석 변수 선정 .....	19
4.1.1 차로변경의 정의 .....	19
4.1.2 버스 차로변경특성 관련 변수 .....	20
4.1.3 교차로 혼잡관련 변수 .....	20
4.1.4 기하구조 관련 변수 .....	20
4.2 분석대상구간 .....	21
4.3 데이터 수집 방법 .....	25
4.4 데이터 가공 방법 .....	26
4.5 Data set 구성 .....	27
<b>제5장 분석결과</b> .....	<b>29</b>

5.1 기술 통계량 .....	29
5.2 모형추정결과 .....	29
5.3 모형의 활용 .....	32
<b>제6장 결론 및 향후 과제 .....</b>	<b>33</b>
6.1 결론 .....	33
6.2 연구의 한계 및 향후 과제 .....	34
<b>참고문헌 .....</b>	<b>35</b>

## <표 차례>

<표 2-1> 연속류와 단속류의 차로변경에 관한 연구 .....	11
<표 2-2> 설계 속도 80km/h에서 엇갈림 구간의 길이 .....	14
<표 2-3> 버스정류장의 제원 (일반도로) .....	15
<표 4-1> 현장조사 지점 개요 .....	25
<표 4-2> Data set 예시 .....	27
<표 5-1> 기술통계량 .....	28
<표 5-2> 모형1에 대한 통계 값 .....	29
<표 5-3> 모형2에 대한 통계 값 .....	30
<표 5-4> 모형2에 대한 통계 값 .....	30
<표 5-5> 모형3으로 적정 이격 거리를 산정한 결과 값 .....	31

## <그림 차례>

[그림 1-1] 작은 간격에서 버스의 차로변경에 의한 후행차량 정체 .....	2
[그림 1-2] 차로 변경 시에 복수의 차로를 한 번에 점유하는 경우 .....	3
[그림 2-1] 교차로에서의 간격수락 .....	7
[그림 2-2] 연속류 연결로에서의 간격수락 .....	7
[그림 2-3] 대표적인 간격수락함수 .....	9
[그림 3-1] 분석 순서도 .....	18
[그림 4-1] 봉천로 사거리 .....	22
[그림 4-2] 보라매역 사거리A .....	23
[그림 4-3] 보라매역 사거리B .....	24
[그림 4-4] 데이터 수집범위 .....	26
[그림 4-5] 데이터 가공법 .....	26



# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

2013년 현재 서울시 버스는 401개 노선이 운영되고 있다. 도심 지역을 운행하는 버스노선은 점점 증가하여 약 7000 여 대가 운행 중에 있다. 버스의 증가에 따라 기존의 교통류와 버스간의 상호 작용도 증가 하였다. 특히, 버스의 차로변경에 따른 기존 교통류의 지체의 증가는 간과할 수 없는 부분이다. 도시부 도로의 경우 신호가 설치된 도로가 상당수이며 신호제어에 의해 차량의 소통이 이루어진다. 그러나 신호에 의한 지체뿐만 아니라 버스의 차로변경에 의한 지체 또한 도시부 단속류 도로에서 발생하고 있다. 버스의 경우 노선에 의해 운행 경로가 정해진 대로 운행되는 특징을 가지므로 차로 변경이 불가피한 경우가 발생한다. 특히 경로 상에 연속적인 차로변경을 포함하는 노선의 경우에는 다른 차량들의 소통에 악영향을 미친다. 이러한 노선 중 대표적인 경우가 교차로에서 좌회전 하는 노선의 직전 정류장이 노변에 위치한 경우이다. 신호교차로 유입부에 인접하여 정류장이 설치된 버스 정류장의 경우 해당 정류장에서 승객의 승·하차가 이루어지면서 발생하는 일반적인 지체에 추가적으로, 최소 2회에서 최대 4회의 연속된 차로변경을 하면서 다른 차량의 통행에 영향을 미치게 된다. [그림1-1]은 버스의 차로변경에 의해 차로변경 목표 차량이 속도를 줄이는 현상을 나타내며 [그림1-2]는 버스가 차로 변경 시 여러 차로를 점유함으로써 도로 전체의 통행에 문제를 일으키는 모습이다. 이러한 특징을 가지는 노선의 정류장이 전방교차로 차로변경 완료 지점까지 이격 거리가 충분하지 않거나 교통량이 도로의 용량 보다 많아 해당 도로가 혼잡할 경우에 문제가 발생한다. 버스는 계획된 노선의 경로를 벗어날 수 없다. 따라서 경로를 고수하기 위해 끼어들기 등 공격적인 운행이 불가피한 상황이 발생한다. 때문에 버스에 의한 교차로 체체

증가를 방지하기 위한 방법이 필요하다. 문제 해결을 위해 여러 가지 교통 공학적 방법이 존재하며 대표적인 방법으로 정류장 이격 거리를 충분히 확보하여 버스가 차로변경 할 수 있는 충분한 여유 공간을 확보 하는 방법이 있다. 특히 노변 정류장 정차 직후에 좌회전 차로로 진입해야하는 버스의 경우 정류장으로부터 좌회전 차로 변경완료 지점까지의 거리는 더욱 중요하다. 하지만 현재 이러한 환경에서 운행되고 있는 버스정류장 중에서 다수가 오전·오후 첨두시 차량이 집중되어 정체가 발생하며 이러한 정체는 버스의 차로변경으로 더욱 심화되는데, 노변 정류장이 교차로와의 거리가 충분하게 확보되지 않은 채 설치되어있어 해당 구간에 버스의 무리한 차로변경으로 지정체가 가중되고 있다. 따라서 부족한 이격 거리는 해당 도로의 교통류의 흐름에 미치는 영향이 매우 크다.

국내 기준에서는 기존가로에 버스 정류장 도입 시 일반차량의 영향이 최소화 되는 대책을 설정하도록 정하고 있다. 그러나 기준에서의 엇갈림길이 결정 변수는 설계속도 뿐이며 설계속도만으로 개별 차량의 엇갈림을 설명하기에는 한계가 있으며 일반 차량과 버스의 속도가 차이를 보이므로 신호 교차로에 버스의 엇갈림에 적용하기에는 한계가 있을 것으로 사료 된다.

## 1.1. 연구의 범위

본 연구의 시간적 배경은 2013년 6월부터 2013년 12월이며, 연구에서 사용되는 버스 노선은 서울시를 운행하는 버스의 노선을 기준으로 하였으며, 버스의



[그림 1-1] 작은 간격에서 버스의 차로변경에 의한 후행차량 정체



[그림 1-2] 차로 변경 시에 복수의 차로를 한 번에 점유하는 경우

연속적인 차로변경이 발생하는 교차로 주변도로의 교통류 특성을 분석에 반영하였다. 분석에 사용한 노선정보는 서울시 교통정보센터의 버스노선 안내표를 기준으로 간선도로와 지선버스 및 마을버스, 순환버스를 대상으로 하였다. 분석에 적용한 차종은 차로변경을 시도하는 주체로서 버스의 차로변경 속도와 차로변경 속도 등의 교통류 특성을 반영하였고, 차로변경의 영향을 받는 일반승용차

의 교통류 특성을 반영하였다. 분석대상 구간의 교통량은 오전·오후 첨두 1시간의 교통량을 전수 조사하여 반영하였고, 버스의 1시간 운행대수는 서울시 교통정보센터에서 제공하는 해당버스의 운행시격을 분석에 적용했다. 분석을 위한 현장 조사는 버스의 연속적인 차로변경이 기존 교통류에 영향을 미칠 것으로 예상되는 기준에 의해 선정된 장소 중에서 해당 버스의 운행 빈도가 높은 곳, 정류장과 차로변경완료구간의 이격 거리가 짧은 곳을 우선적으로 선정하여 내림차순으로 조사하였으며 비디오카메라를 통해 차로변경이 예상되는 60m~200m의 구간의 영상을 촬영하였다. 현장조사를 통해 수집한 동영상은 프레임 단위로 분석하기 위해 어도비사의 동영상 편집 프로그램인 Adobe Premiere Pro를 활용하였으며 초당 30프레임을 기준으로 조사 지점 당 30대 이상의 버스의 차로변경에 의한 조사구간내의 엇갈림 영향을 분석 하였다.

## 1.2 연구의 의의와 구성

본 연구에서는 노선버스의 연속적인 차로변경 특성을 가지는 노선의 으로 인해 동일한 도로를 주행하는 일반차량의 지체증가에 미치는 영향을 분석하였다. 버스의 연속적인 차로변경 행태를 대표할 수 있는 원인으로 차로를 가로막은 채 후방 차량의 감속 및 정지를 발생시키는 Lane blocking을 선정하였으며 Lane blocking이 발생하여 해소되는 시간을 표현하기 위하여 차로 변경 시간을 측정하여 활용하였다. 현장 조사는 노면 버스정류장에서 정차 한 후에 교차로에서 좌회전하는 경로를 가지는 노선을 선정하였으며 해당 교차로 직전의 정류장을 시작으로 차로변경 종료지점에 이르는 범위를 비디오로 촬영하였다. 촬영된 비디오 자료로부터 도로에서 주행하는 일반차량의 교통량 및 밀도를 주기별로 분할하여 구득하였다. 또한 차로변경을 시도하는 버스의 운행 빈도 및 합류속도를 측정하였으며 버스 차로 변경 시 합류 목표 차로의 전방 50미터, 후방 20미터의

차량수를 측정 하였다. 습득한 자료를 이용하여 다중선형회귀분석을 통하여 종속변수인 버스의 엇갈림 소요시간에 대한 독립변수의 영향을 버스 차로변경 특성, 도로 기하구조 특성, 혼잡도 특성의 3가지 카테고리 별로 분류하여 분석하였다. 분석을 통해 산출한 회귀 식을 이용하여 버스의 차로변경시간이 각각의 요소들에 의해 어떻게 변화하는지 해석하였다. 마지막으로 산출된 회귀 식을 이용하여 버스의 필요 차로 변경 횟수에 따른 적정한 엇갈림 길이를 산정하였으며 적정 이격 거리의 기준은 혼잡하기 않은 도로 조건에서 다른 차량 교통류의 흐름을 방해하지 않으면서 차로변경이 일어나는 시간을 기준으로 하였으며 이를 위해 교통 혼잡도 변수에 비 침투 밀도를 적용하였다.

## 제2장 기존연구고찰

### 2.1 간격수락에 관한 연구

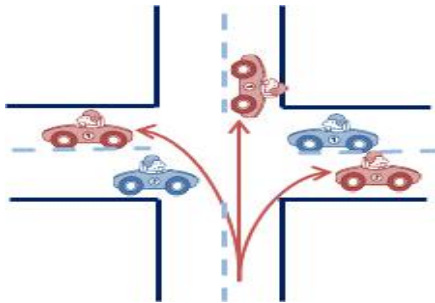
#### 1) 간격 수락의 개념

간격수락의 개념은 통행권이 낮은 도로의 운전자가 높은 통행권을 가지는 주 도로의 도로를 횡단하거나 해당 교통류에 합류하는 과정에서 운전자의 행태를 모형화하기 위한 연구에서 처음 사용되었다. 이러한 연구에서 간격수락 모형은 비 신호 교차로에서의 지체나 용량저하, 보행자의 횡단 또는 연속류 도로에서의 합류와 차로변경 행위를 설명하기 위해 사용되었다.

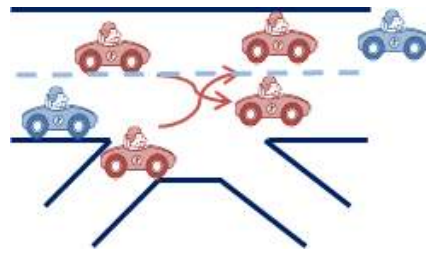
이러한 연구에서 간격수락 모형은 비신호 교차로에서의 지체나 용량저하, 보행자의 횡단 또는 연속류 도로에서의 합류와 차로변경 행위를 설명하기 위해 사용되었다. 이러한 연구들에서는 각각의 운전자가 횡단 및 차로변경을 하는 과정에서 특정한 간격을 가진다고 가정을 하였고 이를 임계간격(Critical gap)이라는 용어로 설명하였다. 임계간격의 정의는 “교통류 내의 대부분의 운전자가 특정한 위치 및 상황에서 수락할 것이라고 생각할 수 있는 최소간격”이며 또는 “운전자가 차로를 변경하기 위해 수락하는 관측 불가능한 최소간격”이라고 기존의 연구에서 정의 하였다. 운전자가 도로를 횡단하거나 차로 변경을 시도하는 상황에서 목표 차로의 차량 간 간격이 연구에서 제시하는 임계간격보다 클 경우에 운전자는 간격을 수락하게 되며 임계간격보다 작을 경우에는 기존의 차로에서 대기하며 다음번 간격을 기다리게 된다.

운전자는 크게 두 가지 상황에서 간격수락 행태를 겪게 되는데 먼저 교차로(주로 비 신호 교차로)에서 횡단과 비보호 좌회전, 그리고 우회전(RTOR)이 있으며 연속류 도로에서는 본선 내에서의 차로변경과 램프에서의 합류, 그리고 엇

갈림 상황에서 간격수락의 행태를 보이게 된다. 교차로에서 벌어지는 횡단의 경우에는 양방향으로 진행하는 교차로를 횡단해야 하므로 두 방향의 교통류 모두에 대한 간격 탐색이 이루어져야 하며 두 방향의 교통류에서 탐색되는 간격 중 최소의 간격이 횡단의 여부를 결정하는 임계간격이 된다. 그리고 연속류 교통류에서 발상하는 차로변경, 합류, 엇갈림의 경우 주행 중에 목표 차로의 속도 및 간격을 탐색하면서 이루어지므로 간격수락이 이루어지는 각각의 상황에 따라 적절한 간격수락 행태에 대한 연구가 이루어지고 있다. 기존의 간격수락에 대한 연구는 고속도로 램프 진입구간의 합류와 비 신호 교차로에서의 횡단에 대한 연구가 가장 활발하게 진행되었고 최근에는 미시적 시뮬레이션에서 차로변경 행태를 현실과 유사하게 적용하기 위한 연구에 대한 필요성이 커지면서 운전자 행태기반의 차로변경 연구가 활발히 이루어지고 있다.



[그림 2-1] 교차로에서의  
간격수락



[그림 2-2] 연속류  
연결로에서의 간격수락

## 2) 임계간격 추정

임계간격 분포를 가정하는 연구들에서는 특정한 간격에 대해 해당 간격보다 탐색된 간격이 크게 나타날 경우 수락하고 임계간격보다 작거나 같다고 나타날

경우 간격을 거부한다고 생각하였다. 따라서 개별 운전자의 임계간격을 측정 하는 데는 어려움이 있다. Drew(1966)는 이를 해결하기 위해, 간격을 수락하기 전에 한번이상 간격을 거부한 운전자만을 선별해 관측한 후, 운전자의 임계간격이 그가 거부한 최대 간격과 최종적으로 수락한 간격 사이에 존재한다는 가정을 통해 빈도분포를 얻는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 간격을 거부한 적이 있는 운전자만을 고려하게 되며, 대기 행렬의 첫 번째 차량이 도착했을 때 본선의 차량이 도착하기 전 바로 수락하는 경우에 대해서는 적용할 수 없다는 한계를 지녔다..

Herman과 Weiss (1961)는 특정 간격  $T$ 에 대해 간격을 수락할 확률은 간격수락함수  $P(T)$ 를 따른다는 좀 더 현실적인 모형을 제시하였다. 즉, 운전자가 어떤 간격  $T$ 를 수락할 확률은 그 운전자의 임계간격이  $T$ 보다 작을 확률과 같다고 가정 한 뒤,  $P(T)$ 는 임계간격 분포함수  $f(T)$ 의 적분으로 나타내었다..

$$P(T) = \int_0^T f(T)dT$$

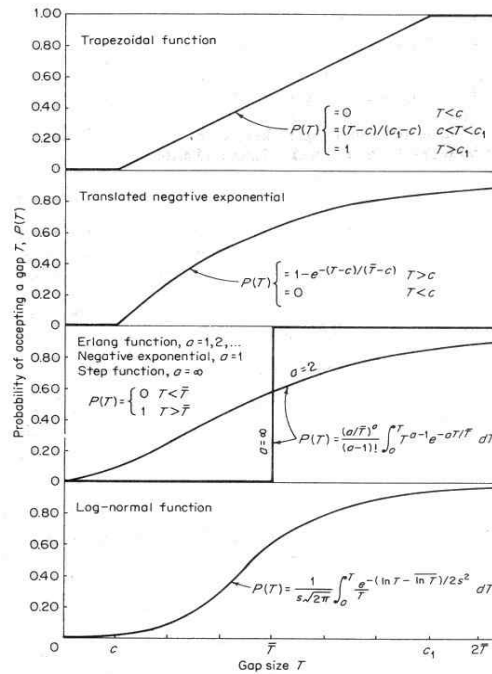
따라서 주어진 임계간격분포에 따라, 간격수락 함수를 정의할 수 있다. 대표적인 간격수락함수가[그림 2-3]에 나타나 있다.

이와 같이, 임계간격의 분포를 가정하는 간격수락모형들은 운전자의 실제 임계간격분포를 알 수 없으므로, 가정에 의존하게 되어 현실적인 임계간격분포를 나타낼 수 없다. 또한, 임계간격의 분포는 개별 운전자마다 다르게 나타날 수 있으므로, 이러한 모형들은 개별 운전자의 행태를 반영할 수 없다.

이 절에서 살펴본 임계간격분포기반의 간격수락모형들은 개별 운전자의 행태에 대해서는 고려하지 않았으며, 단지 임계간격을 어떻게 추정할 것인가에 중점을 둔 연구들이었다. 다음절에서는 개별 운전자의 행태를 반영하고자 한 연구



들을 살펴본다.



[그림 2-3] 대표적인 간격수락함수

본 연구에서 활용한 “이상적인 안전 간격”이란 차로 변경 시에 안전한 차로 변경을 위해서 합류하는 차량의 합류 속도가 정해진 상황에서 합류 목표 차량의 선행차량과 후행차량의 속도를 반영하여 안전한 차간간격을 산출한 것으로 교통류가 와해되지 않으면서 차로변경이 가능한 간격을 말하며 차로 변경 시에 발생하는 가속 과정 및 반응 시간에 의한 지체를 포함한 시격이다. 단, 여기서 운전자 반응시간은 자극을 인지하고 판단한 뒤의 반응시간만을 말한다. 이는 Drew 외(1967)의 연구에서 처음 제시된 개념을 knox(1964)의 연구에서 현장 조사를 통해 Calibration한 값을 사용 하였다.

## 2.2 연속류 차로변경에 관한 연구

양철수 외(2010)는 고속도로 진출입 구간에서 고속도로 중앙을 가로질러 위빙(weaving)하여 진입하는 차량에 대한 엇갈림길이 구간을 산정하였으며 간격수락 이론을 이용하여 차량의 위빙에 대한 성공확률을 함수로 표현하여 적정 위빙 구간의 길이를 산정하였다[2]. 이어지는 후속연구에서 양철수(2012)는 동일한 현상이 발생하는 고속도로 진출입 구간에서 시뮬레이션을 활용하여 차량의 궤도를 측정하여 위빙 시에 발생하는 상충의 횡수를 산정하였으며 상충횡수와 엇갈림 구간의 길이를 다중회귀모형으로 정립하였다[3]. Chen 외(2010)는 도시고속도로에서 진출입구 배열에 따른 위빙구간의 거리 산정하였으며 일반차량의 교통량 및 버스의 시간당 운행 대수, 위빙구간길이를 변화시켜가며 다양한 시나리오 분석을 시뮬레이션을 통해 수행하였으며 위빙구간의 길이는 진입구-출입구 형태를 가지는 도로일수록 노변정류장일수록 민감하게 변화한다는 분석 결과를 도출 하였다.

## 2.3 단속류 차로변경에 관한 연구

하태중 외(2002)는 신호교차로 유입부 정류장에서 정차한 후 좌회전하는 노선의 적정 정류장 이격 거리를 산정하였으며 버스의 진행각도 및 버스의 속도, 신호조건이 단순화 되어 분석에 사용되었다. 장정아 외(2008)는 무통제 교차로에서 운전자의 간격수락 특성을 고려하여 무통제 교차로에서 차량 흐름을 분석하였고 비디오 촬영을 통한 현장자료를 로짓 모형으로 모형화 하였으며 무통제 교차로에서 운전자의 성별과 나이, 동승자의 유무 등의 영향을 분석하였다. 이정환 외(2011)은 신호교차로에서 정류장 위치에 따른 버스정류장 설치 기준을 제시하였으며 간격수락과 대기행렬이론, 보행자 특성, 한계 사고율 등

신호교차로의 종합적인 특성을 모두 고려하였다.

이와 같이 연속류와 단속류 모두에서 버스가 차로변경으로 도로중앙을 가로질러 위빙 하는 현상을 해석하려는 시도 가 있었고 특히 단속류 에서는 운전자 특성, 차량특성, 보행자, 도로 환경 등 고려 할 것이 많기 때문에 다양한 관점에서 연구가 진행되었다 본 연구에서는 노선을 가지는 버스의 경로에 의해 발생하는 위빙현상의 영향으로 일반차량 운전자가 겪게 될 지체현상에 연구의 초점을 맞춘다.

분류	연구범위	저자	발표년도	특징
연속류	연속류 연결로	Yang et al.	2011	• 간격수락 이론을 이용한 상층의 지수를 기초로 하여 엇갈림 구간 길이 산정
	연속류 연결로	Yang	2012	• 시뮬레이션으로 차량 궤도에 따른 상층을 측정하여 엇갈림 구간 길이 산정
단속류	무통제 교차로	Jang et al.	2008	• 운전자 특성을 고려 무통제 교차로 간격수락 분석
	신호 교차로	Lee et al.	2011	• 간격수락과 대기행렬이론을 바탕으로 엇갈림 길이를 산정 • 보행 특성 및 한계사고율을 고려하여 버스정류장의 안전 고려
	신호 교차로	Tian et al.	2006	• 확률 모형을 이용한 우회전 전용 차로 적정 용량 산정
	신호교차로	본연구	2013	• 시내버스 노선 경로에 포함된 엇갈림 구간 분석

<표 2-1> 연속류와 단속류의 차로변경에 관한 연구

## 2.4 교차로 지체 산정에 관한 연구

강호익 외(1998)은 도로유형별로 지체함수를 정립하기 위하여 교통배정을 통해 구해지는 추정 링크 통행량과 실측통행량을 비교해가며 정산하는 방법과 교통량-속도 관계로부터 직접 구하는 두 가지 방식 중에서 두 번째 방식인 교통량-속도 관계로부터 직접 도로 유형별 지체함수를 구하여 교통 배정에 적용하는 새로운 방법을 적용하였다. 이 연구에서는 교통망 전체에 대하여 단일 지체함수를 적용하는 기존 방법은 위계를 달리하는 도로들에 대하여 같은 값을 적용하는데 한계를 지적하며 도로 위계에 따라 구분하여 적용할 수 있는 지체함수를 적용하는 방법론을 정립하였다. 연구 결과 이전의 방식에서는 다소 과소 추정되었던 고급도로의 교통량에 대해서 보다 현실적인 교통량이 배정됨으로서 상대적으로 과소평가되었던 고속도로 등 고급도로에 대하여 현실에 가까운 실제 타당성을 반영할 수 있게 되었다. 다음으로 단속류의 신호교차로에 대한 논문들을 살펴보면 오상진 외(2008)는 교차로 지체를 고려한 통행시간함수를 개발하고, 이를 도시가로망에 적용하여 분석하는데 그 목적을 두고 있다. 이는 기존통행배정 모형이 교차로 지체를 적절히 고려하지 못하고 있다는 분석에 근거하고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 링크의 통행시간을 구간순행시간과 교차로 지체시간으로 구분하고, 청주시 주행속도, 교통량, 기하구조 및 신호운영 자료 등을 수집하여 계획단계에 적절한 구간순행시간과 교차로 지체시간 산출모형을 구축하고, 이를 통행배정 단계에 적용하여 그 타당성을 분석하였다. 이 연구에서는 교차로 지체시간을 산출하기 위해 교차로의 녹색시간비 대신 접근로의 차로수 비율을 교차로 유형별로 보정한 후, 이를 실제 녹색시간비율과 비교하여 보정 차로수비율을 모형구축에 적용하였다. 둘째, 기존의 BPR모형과 보정 차로수비를 이용한 균일지체기반 수정모형 및 Webster기반 수정모형을 이용하여 청주시 가로망에 통행 배정하여 주행속도 조사 자료와 비교한 하여 교차로

지체를 반영하였고 배정결과와 실측 통행시간, 교통량, 평균 통행 속도 간 통계 검증 결과 통행시간 분리모형이 BPR모형 보다 실측치와의 통계적 오차가 감소하는 것을 확인하였다. 김원규 외(2010)는 교통 네트워크상에서 지체가 발생하는 중요 지점인 신호 교차로에 대해서 운전자와 교통 전문가들이 일반적으로 가장 잘 이해하기 쉽고 중요한 MOE(Measure of Effectiveness)인 지체에 대하여 수평 충격파이론을 적용하여 모형을 구축하였다. 김원규 외(2010)는 실제 교통류가 혼합교통류인데 반해, 지금까지의 지체 측정 모형 대부분은 동질 교통류를 가정한 연구로 수행된 점을 지적하면서, 버스와 승용차로 이루어진 비 포화 혼합교통류 상황에서, 신호교차로와 버스 정류장에서 사이에서 발생하는 지체를 직접 산정하기 위한 모형을 개발하였다. 해당 모형은 혼합교통류의 모든 교통상황을 반영한 모형이라기보다 2차로 도로에서 버스의 정차로 인한 지체현상을 설명하는데 주안점을 두었다. 모형의 검증은 지체 산정모형과 시뮬레이션인 INTEGRATION의 결과값을 비교하여 모형적용에 대한 유효성을 평가하였고, 평가결과 버스의 유입량에 대한 비교에서는 버스의 대수가 많아질수록 평균 지체량은 늘어나는 것으로 나타났으며 신호 교차로와 버스 정류장의 이격 거리에 대한 비교에서는 버스가 전방차량의 영향을 받지 않는 경우 일정한 값을 유지한다고 분석하였다.

## 2.5 버스정류장에 대한 국내 기준

도로용량 편람에서는 고속도로의 설계속도와 엇갈림 교통량 비에 따른 엇갈림구간의 길이를 제시하고 있으며 기준은 다음 <표 2-2>과 같다.

교통용량편람(2013)에서는 고속도로 진출입로에서 발생하는 엇갈림을 주로 다뤘으며 신호교차로에서 버스 노선에 의한 엇갈림 영향에 대한 기준은 제시하지 않고 있다.

국토해양부에서 발간하는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(2012에서는 일반도로의 버스정류장에 대한 제원을 <표2-3>와 같이 제시하였다.

하지만 이 기준은 본선과 분리된 버스정류장에 한해서 제시된 기준이 때문에 본선의 노변에 제일 가까운 한 차로를 가속차로 및 버스 정차대로 사용하는 노변정류장의 경우에는 적합하지 않으며 본 연구에서는 분리된 정류장이 아닌 노변정류장에 대한 적정 이격 거리를 산정하고자 한다.

교통량 비(VR)	엇갈림 구간 길이(L, m)			
	150	300	450	600
<b>N=3(본선 2차로)</b>				
0.10	4,600	4,800	4,900	5,000
0.20	4,500	4,700	4,800	4,900
0.30	4,400	4,600	4,700	4,800
0.40	4,300	4,500	4,600	4,700
<b>N=4(본선 3차로)</b>				
0.10	6,200	6,400	6,600	6,700
0.20	6,100	6,400	6,500	6,600
0.30	6,000	6,400	6,400	6,500
0.40	5,900	6,400	6,300	6,400
<b>N=5(본선 4차로)</b>				
0.10	7,800	8,000	8,300	8,400
0.20	7,700	7,900	8,200	8,300
0.30	7,600	7,800	8,100	8,200
0.40	7,500	7,700	8,000	8,100

<표 2-2> 설계 속도 80km/h에서 엇갈림 구간의 길이

설계속도(km/h)	지방지역				도시지역		
	80	60	50	40	60	50	40
감속차로길이(m)	35 (95)	25	20	20	20	15	12
감속차로길이(m)	15	15	15	15	15	15	15
가속차로길이(m)	40 (140)	30	25	25	25	20	13
버스정류장길이(m)	90 (250)	70	60	60	60	50	40
엇갈림길이(m)	80	50	40	30	50	40	30

주.( )안은 일부 출입을 제한한 경우의 값

<표 2-3> 버스정류장의 제원 (일반도로)

## 제3장 분석 방법론

### 3.1 분석방법

본 연구에서는 가장 대표적인 통계적 방법론 중 하나인 회귀분석을 이용하였다. 다중회귀분석을 이용하여 변수간의 통계적 선형 함수식을 파악함으로써 상호관계를 추론하는 회귀 식을 산출하였다. 본 연구에서 산출된 회귀식으로 수립된 모형은 회귀모형으로 통칭하였다. 분석에는 통계패키지 R 3.0.1 버전이 사용되었다.

### 3.2 회귀모형

회귀모형은 한 변수를 종속변수로, 그리고 다른 변수들을 설명변수로 설정하여 이들 간의 관계를 모형화한 것이다. 설명변수가 한 개인 경우 단순 회귀 모형, 그리고 두 개 이상인 경우를 다중회귀모형이라고 한다. 다중회귀모형은 여러 개의 변수들 간의 관계를 함수식으로 모형화한 것으로서 한 개의 종속변수를 여러 설명변수들의 선형 함수식으로 표현하는 통계적인 모형이다. 일반적으로 이 추정된 모형을 사용하여 예측에 이용하거나 관계 규명을 위한 추정 및 검정을 실시하게 된다. 종속변수를  $Y$ 로,  $k$ 개의 설명변수들을  $X_1, \dots, X_k$ 로 표기할 때 회귀모형은 [식 1]과 같이 표현된다.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \cdots + \beta_k X_k + \epsilon_i,$$
$$\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n$$

$Y$  : 종속변수

$X$  : 독립변수



$\alpha, \beta_i$  : 회귀계수,  $i= 1, 2, \dots, k$

$\epsilon_i$ : 오차항

이 회귀모형에서  $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_k$ 를 회귀계수라고 부르며 이 값들은 데이터로부터 추정된다. 즉, 설명변수 X가 종속변수 Y값에 미치는 영향력을 나타낸다. 분석을 위해 추가된 데이터를 이용하여 설정한 회귀모형은 각 회귀계수에 대한 추정치를 주어진 자료로부터 구할 수 있으며 구해진 추정 식(예측 식)은 다음과 같다.

$$\widehat{Y} = \widehat{\alpha} + \widehat{\beta}_1 X_1 + \widehat{\beta}_2 X_2 \cdots + \widehat{\beta}_k X_k \quad (\text{식 2})$$

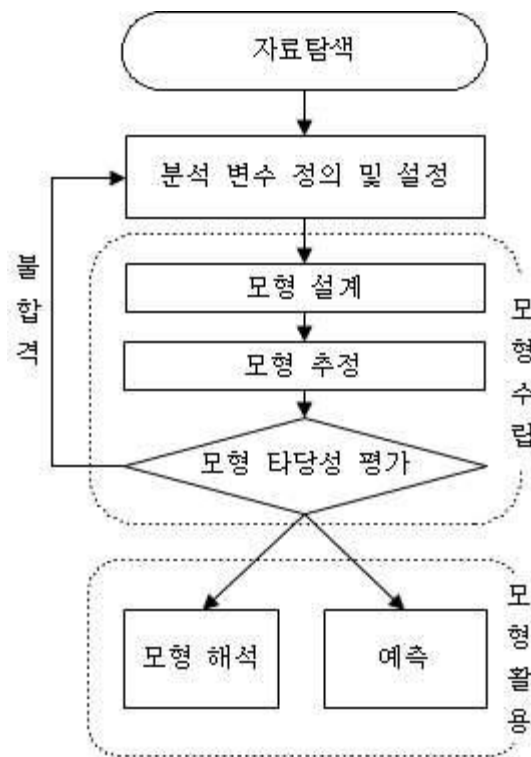
이 때, 회귀모형에서 결정계수( $R^2$ )의 값은 종속변수의 총 변동에 대한 설명변수들의 설명력의 크기를 나타내는 척도이기 때문에  $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 범위를 갖게 되며 1에 가까울수록 설명변수들이 종속변수를 잘 설명하고 있다고 판단하고 그 반대로 0에 가까우면 설명변수들이 합당하지 않게 추가되었다고 판단한다. 회귀 이론에서는 회귀식에 포함되는 설명변수의 수가 늘어나면 결정계수

의 값이 자동적으로 높아지므로 수정된 결정계수(adjusted R-squared)를 사용한다. 비슷한 개념으로, 설명변수들이 선형가정을 만족하면서 종속변수를 잘 설명해내는지에 대한 통계적 가설검정을 거칠 수 있다. 이를 회귀요인에 대한 분산 분석이라 하며 모형 적합 통계량을 확인하는 과정에 해당한다. 모형 설정 시 설명변수 각각이 가지는 설명 정도의 크기가 서로 다를 수 있으므로 이를 적절히 조절하여 선택하는 변수선택법을 모형평가 과정에서 적용할 수 있다. 변수에 대한 또 다른 기준으로는 회귀모형에 적용되는 중요한 전제조건 중의 하나인 설명변수들의 상호 독립성을 확인하는 방법이다. 이를 위해 다중공선성

(multicollinearity) 진단을 수행하는데 각 변수의 다중공선성에 대한 분산팽창 계수(VIF ; Variation inflation Factor) 수치가 10을 넘으면 변수 간 상관관계가 높은 것으로 판단하여 변수를 삭제시킨다. 이렇게 선택된 변수들에 대한 추정 계수 값의 통계적 유의성을 검토하기 위해 각 계수별 t-검정을 수행하며, 유의 확률이 유의수준보다 작은 수치를 나타내야 해당 회귀계수가 계적으로 유의하다고 판단한다.

### 3.3 분석절차

본 연구에서 수행한 회귀모형에 대한 수립 절차는 다음 순서도와 같다.



[그림 3-1] 분석 순서도

먼저 모형수립에 사용될 자료를 탐색한 후 변수를정의 및 설정한다. 선정된 데이터를 이용해 회귀분석을 수행하여 모형을 수립한 후 여러 기준을 통해 검토하여 변수를 재설정하거나 모형을 선정한다. 이렇게 선정된 모형이 예측 등에 활용된다.

## 제4장 모형 구축 및 분석

### 4.1 분석 변수 선정

교차로 전체 지체를 야기하는 요소는 버스의 차로변경과 차로변경 과정에서 발생하는 감속, 정지, Nosing 등 이 있다. 이러한 요소를 모두 포함하는 변수로서 버스의 차로변경 소요 시간을 종속변수로 정하였다. 그리고 교차로 인근 노변 버스 정류장에서 버스의 차선변경시간이 도로 및 교통류 조건에 의해 어떻게 변화하는지 각 요소의 영향을 조사하기 위해 변수를 선정하였다. 변수는 세 가지 갈래로 분류하여 선정하였다. 세 가지 갈래는 버스 차로변경 관련요소, 링크 혼잡특성 관련요소, 기하구조에 관련된 요소이며 각각의 갈래에 속한 설명변수는 다음과 같다

#### 4.1.1 차로변경의 정의

버스 차로 변경은 버스가 주행 중 간격을 찾아 바로 진입하는 경우와 적절한 진입 간격을 찾지 못해 도로상에 정지하여 진입간격을 탐색하다가 차로변경을 수행하는 경우 두 가지로 정의하였으며 첫 번째의 경우 버스가 차로변경을 위해 방향을 전환하는 시점부터 차로 변경 완료 후에 직진 진행 각도를 회복하기까지의 시간으로 정하였으며 두 번째 상황의 경우 버스가 진입간격을 찾기 위해 정지한 시간부터 차로변경을 완료하여 직진 주행 각도를 회복 할 때까지의 시간으로 정하였다.

#### 4.1.2 버스 차로변경특성 관련 변수

버스 차로변경관련 변수는 버스 차로변경 속도이다. 차로변경 속도는 버스가 차로 변경 하는 동안 이동한 거리를 1m단위로 측정하여 차로변경 완료 시까지의 시간으로 나누어 산정하였다.

#### 4.1.3 교차로 혼잡관련 변수

교차로 혼잡관련 변수는 버스가 차로변경을 위한 간격을 찾아 차로변경을 완료하기까지의 시간 및 거리에 매우 큰 영향을 미치는 요소이다. 구간 내 차량이 증가하여 도로가 혼잡해 질수록 버스의 차로변경을 위한 간격의 크기와 출현빈도가 감소하고 이는 버스의 차로 변경 시간 및 속도에 주요한 영향을 미치게 된다, 교차로 혼잡 변수는 주기종료시의 구간 내 밀도로 정하였는데 주기 시작시의 구간 내 차량대수에서 주기 동안 구간 내에 유입되는 차량대수와 유출하는 차량대수를 모두 표현할 수 있는 변수이기 때문이며 주기 종료 시 구간에 남아 있는 차량대수를 구간길이와 차선수로 나눈 값을 적용하였으며 단위는 대/m다.

#### 4.1.4 기하구조 관련 변수

기하구조 관련 요소는 버스의 차로변경에 의한 일반차량과의 엇갈림 정도를 결정하는 변수로서 횡단차로수와 정류장에서 차로변경완료지점인 교차로 진입선까지의 이격 거리를 선정하였다. 차로 수는 버스전용차로를 제외한 버스와 일반승용차가 모두 운행 할 수 있는 혼합 교통류 상태를 나타내는 차로의 수를 사용하였으며 좌회전 포켓의 경우 차량 대기행렬이 노변정류장 인근까지 이어지는 경우에는 좌회전 포켓도 차로 수에 포함시켰다.

## 4.2 분석대상구간

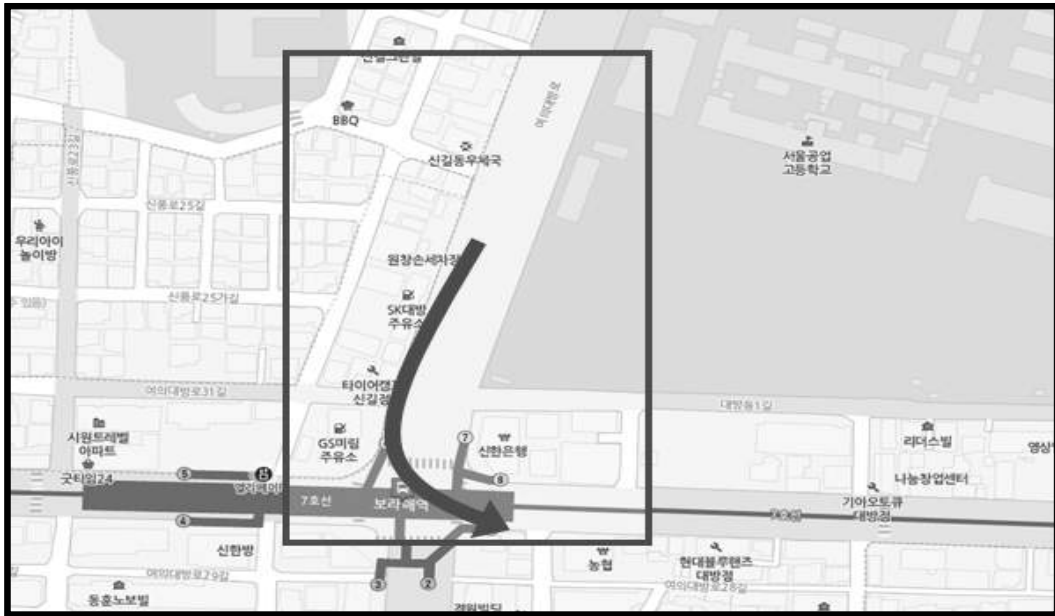
분석 대상 구간은 정류장의 형태가 노변정류장이며 정류장에서 정차를 한 후에 인접 교차로에서 좌회전을 하도록 설계된 노선의 경우 해당도로의 차로 수에 따라서 2~4회의 연속된 차로변경이 불가피한 지점으로 정하였다. 이러한 노선에서 교차로 차로변경 완료 지점과 정류장의 이격 거리가 충분하지 않거나 교통량이 많아 상습적으로 지체가 발생하여 교차로 대기 행렬이 발생하는 곳을 선정하였다. 분석 대상구간의 선정 기준은 차로기준 3차로 이상의 도로(최소 2회 이상의 차로변경 발생)이며, 정류장 이격 거리 기준은 도로용량 편람에 제시된 기준에 의하면 간선도로의 버스정류장은 1km당 2개 이상이면 노변 마찰이 큰 곳으로 정하였으므로 정류장에서 차로변경완료 지점까지의 길이가 500m 이하인 곳으로 선정 하였다. 마지막으로 버스의 운행 빈도가 높고 첨두 교통량이 많아 상습적으로 정체가 발생하는 교차로 진입로를 대상으로 선정하였다.

기준에 따라 서울시 관악구 봉천로 사거리에 위치한 노변 정류장에서 약 61m지점인 교차로 시작점을 첫 번째 분석 구간으로 선정하였고 분석구간 내에서 버스는 북쪽에서 남쪽방향인 사거리 쪽으로 진행한 후에 교차로 근처 61m 지점의 노변정류장에 정차 한 후에 좌회전하여 동쪽으로 진행하는 3개의 엇갈림 버스노선이 운행하고 있으며 주기는 첨두시 신호주기는 140초 이다. 차로 수는 5차로로 총4번의 차로변경이 필수적으로 발생하며 교통량은 첨두시 시간당 2092대 이며 해당 분석대상지점은 [그림4-1]과 같다. 봉천로 사거리는 복수의 노선이 엇갈림을 일으키고 있으며 필요한 차로 변경수도 2회 이상, 4회 이하로 많은 편이며 오전 및 오후 첨두시에 출퇴근 교통량이 많아 혼잡이 심화되는 구간이다.



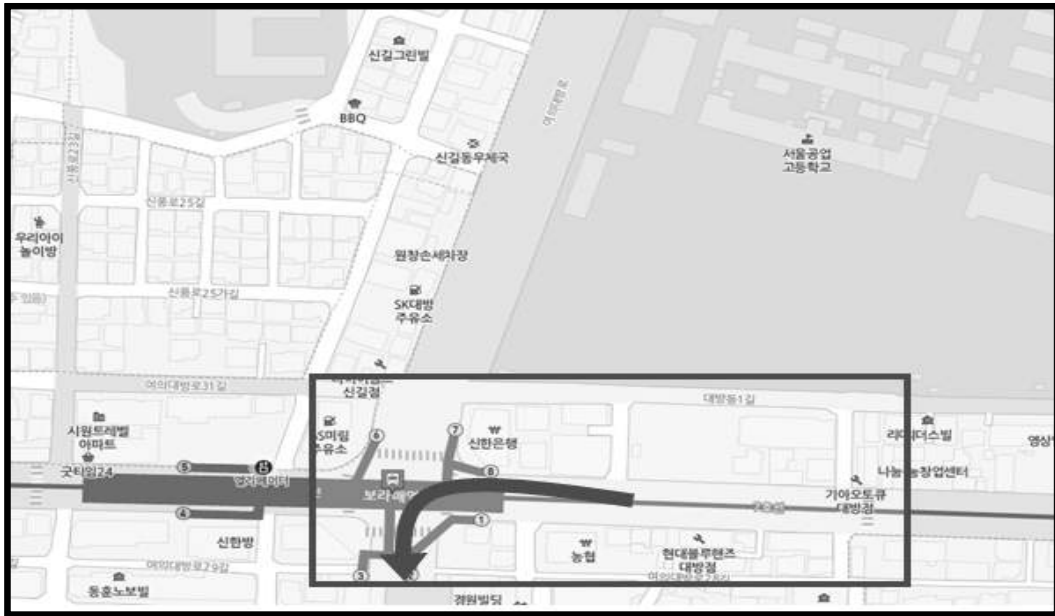
[그림 4-1] 봉천로 사거리

두 번째로 선정된 분석 대상 구간은 서울특별시 영등포구 보라매역에 위치한 북측 진입로 노변 정류장을 선정하였고 북쪽에서 교차로 쪽으로 진행한 후에 교차로 근처 190m 지점의 노변정류장에 정차 한 후에 좌회전하여 동쪽으로 진행하는 3개의 엇갈림 버스노선이 운행하고 있으며 첨두시간의 주기는 180초로 비교적 긴 편이다. 차로 수는 3차로로 1~2번의 차로변경이 발생하며 해당 분석대상지점은 [그림4-2]와 같다. 보라매역 사거리의 경우 첨두시 교통량이 많고 복수의 노선이 엇갈림을 일으키고 있으며 오전 및 오후 첨두시에 출퇴근 교통량이 많아 혼잡이 심화되는 구간이다.



[그림 4-2]보라매역 사거리A

세 번째로 선정된 분석 대상 구간은 서울특별시 영등포구 보라매역에 위치한 서쪽 진입로 노변 정류장을 선정하였고 서쪽에서 교차로 쪽으로 진행한 후에 교차로 근처 190m 지점의 노변정류장에 정차 한 후에 좌회전하여 남쪽으로 진행하는 1개의 엇갈림 버스노선이 운행하고 있으며 첨두시간의 주기는 180초로 비교적 긴 편이다. 차로 수는 3차로로 1~2번의 차로변경이 발생하며 해당 분석대상지점은 [그림4-3]와 같다. 보라매역 사거리B의 경우 첨두시 교통량이 비교적 많지 않은 편이지만 우회전하는 다수의 버스노선이 존재하여 첨두시에 혼잡이 발생한다. 또한 우회전 교통량 및 버스에 의한 정체로 3차로의 교통류가 매 주기마다 포화상태와 자유 교통류 상태를 반복한다.



[그림 4-3] 보라매역 사거리B

현장조사를 통해 위 세 지점을 포함한 10개 지점에 대한 현장자료를 구득하였다. 분석 대상 지점은 이수역 사거리, 상도역 사거리, 대치역 사거리, 신림 사거리 등이 있으며 조사된 지점에 대한 개요는 <표4-1>와 같다.

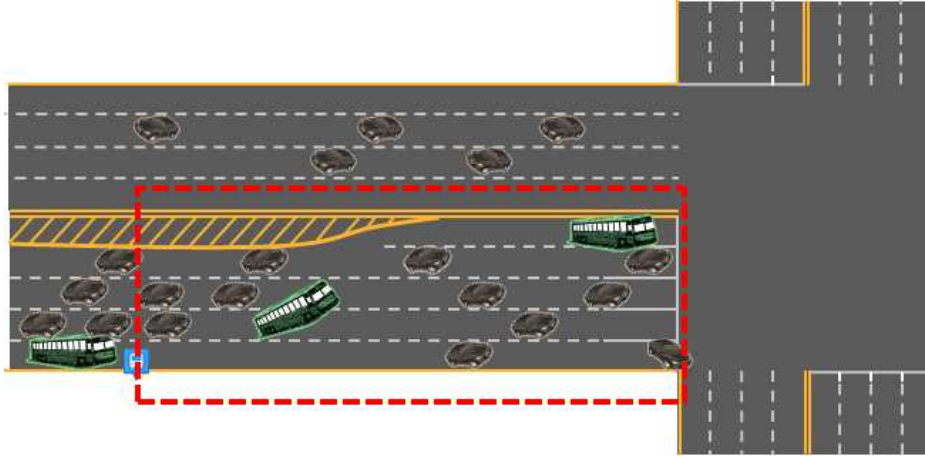


장소	방향	노선번호	차로수	이격 거리(m)	주기
보라매역 교차로A	SB	6513 6514 6516	3차로	190	180
보라매역 교차로B	WB	5536	3차로	77	180
신대방 삼거리역 교차로	NB	153 461 6513 6514, 6516	3차로	162	140
노량진역 교차로	WB	동작02 동작11	4차로	108	140
봉천로 사거리	SB	5524 641 650	5차로	61	160

<표 4-1> 현장조사 지점 개요

#### 4.3 데이터 수집 방법

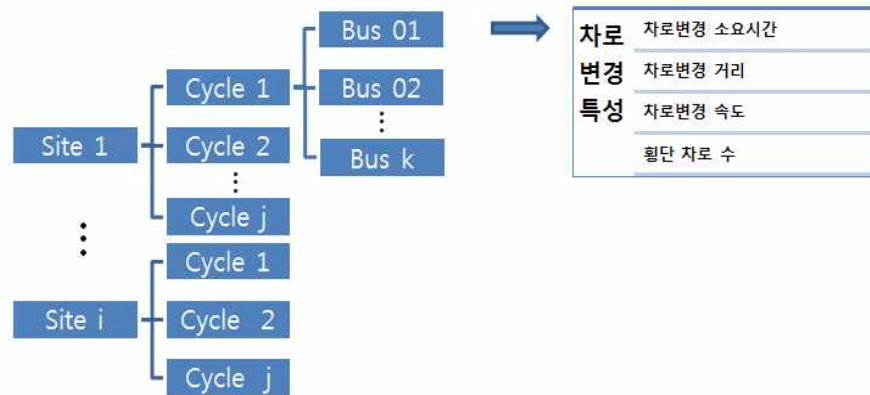
이격 거리와 차로 변경 완료 지점을 양끝으로 하는 구간을 분석의 범위로 하여 지상 15~30m 높이에서 비디오 촬영하였고, 영상 분석은 Adobe Premiere Pro 를 이용하여 초당 30 프레임 단위로 분석하였다. 버스 차로변경 특성 변수의 경우 구간 내에서 발생하는 버스의 차로 변경 행태를 통해 구득하였고, 교통량 혼잡변수 또한 주기별로 구간 내에서 존재하는 차량의 대수를 카운트하여 반영하였다.



[그림4-4] 데이터 수집범위

#### 4.4 데이터 가공 방법

각 지점별로 주기를 기준으로 시간을 분할하여 각각의 주기 내에 발생하는 버스 차로 변경에 대해 차로 변경 속도, 차로 변경 거리 등 데이터를 수집하였다. 밀도의 경우, 이격 거리 내의 차량에 대한 밀도를 산정한 후 이격 거리와 차로 수로 나눠주어 각각의 구간에 대하여 표준화된 값을 적용하였다.



[그림 4-5] 데이터 가공법

#### 4.5 Data set 구성

Data set 구성은 <표4-2>와 같으며 1행마다 버스1대의 차로변경시간과 속도 이격 거리, 차로수, 주기 시작 차량대수, 진입 차량대수, 진출 차량대수, 주기 종료 차량대수, 주기종료시 밀도, 횡단차로수, 차로수의 정보가 한묶음을 데이터를 이루며 같은 주기에서 발생한 차로변경에 대해서는 교차로 혼잡특성에 해당하는 주기 시작 차량대수, 진입 차량대수, 진출 차량대수, 주기종료 차량대수, 주기종료시 밀도가 같은 값을 가지며 같은지점에 대하여 이격 거리 및 차로수가 동일하다.

장소	시간 (초)	Ln (시간)	속도	이격 거리	차로 수	주기 시작 대수	in	out	주기 종료 대수	주기종료 밀도	횡단 차로수
노량진	7.56667	2.02375	6.48	108	4	24	55	64	15	0.03472	1
노량진	4.46667	1.49664	4.03	108	4	24	55	64	15	0.03472	1
노량진	2.56667	0.94260	6.62	108	4	24	55	64	15	0.03472	1
노량진	3.53333	1.26224	5.09	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	6.93333	1.9363	7.79	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	4.7	1.54756	9.79	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	3.66667	1.29928	7.36	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	5	1.60943	9	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
보라매	10.2666	2.32890	2.73	190	3	75	99	99	75	0.131578	2

...

보라매	12.4	2.51769	2.82	190	3	78	92	96	74	0.129824	2
보라매2	10.3	2.33214	2.72	77	3	36	41	39	38	0.164505	2
보라매2	8.1	2.09186	2.1	77	3	38	41	52	27	0.116882	2
보라매2	12.4333	2.52038	4.66	77	3	32	43	35	40	0.173162	2
보라매2	4.33333	1.46633	12.69	77	3	38	35	44	29	0.125538	2
봉천로	5.6	1.72276	18	61	5	37	75	56	56	0.183605	1
봉천로	13.6333	2.61251	9.77	61	5	37	75	56	56	0.183605	1
봉천로	6.1	1.80828	9.44	61	5	37	75	56	56	0.183605	1
봉천로	11.5	2.44234	13.15	61	5	37	75	56	56	0.183605	2

<표 4-2> Data set 예시

## 제5장 분석결과

### 5.1 기술 통계량

4장에서 선정한 변수들에 대해서 기술통계량을 분석 한 결과, 종속변수로 설정한 차로변경 소요시간이 평균대비 분산이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 차로 변경시간이 4장에서 언급한 여러 가지 요인에 의해서 다양한 값을 가지는 것으로 해석 할 수 있다. 모든 변수에 대한 구체적인 기술통계량은 <표 5-1>과 같다.

N=272	최솟값	최댓값	Mean	Std. dev.
차로변경시간	2.57	94.93	11.65	11.04
차로변경속도	0.43	27.75	6.56	5.36
이격 거리	76.0	245.0	135.70	48.11
주기 종료 시 밀도	0.027	0.197	0.087	0.06
횡단 차로 수	1	3	1.42	0.59

<표 5-1> 기술통계량

### 5.2 모형추정결과

설정된 변수에 의해 모형을 추정한 결과 3가지 모형을 만들 수 있었으며, 세 가지 모형은 각각 수정된 결정 계수 값이 높은 모형을 선정기준으로 하였으며 차로변경의 효과를 다양한 각도에서 해석하기 위하여 최대한 다양한 변수를 포함하도록 하였다.

모형1은 모든 변수를 적용시킨 모형으로 수정된 결정계수 값은 0.731로 설명력이 높게 추정되었지만 이격 거리 변수의 부호가 반대로 추정되었고 유의성 검정에서도 변수가 무의미하게 추정 되었으므로 이 모형은 최종모형에서 제외

한다. 모형의 형태는 다음 식과 같고 구체적인 통계 값은 <표5-2>와 같다.

$$Y_{\text{Ln(차로변경시간)}} = 1.473 - 0.633X_1 + 0.431X_2 + 3.680X_3 + 0.235X_4 + 0.0009X_5$$

수정된 $R^2 = 0.731$	구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	공선성 통계량		AIC
상수	-	1.473	0.2924	5.036	0.000	공차	VIF	58.18
Ln(차로변경속도)	$X_1$	-0.633	0.0365	-17.296	0.000	0.663	1.509	
횡단 차로 수	$X_2$	0.431	0.0611	7.051	0.000	0.940	1.064	
주기종료 시 밀도	$X_3$	3.680	0.4113	8.947	0.000	0.826	1.210	
차로수	$X_4$	0.235	0.0550	4.275	0.000	0.241	4.150	
이격 거리	$X_5$	0.0009	0.0009	1.053	0.633	0.284	3.524	

<표 5-2> 모형1에 대한 통계 값

모형2는 모든 독립변수에서 샘플수가 확보 되지 않아 통계적으로 강력한 추정이 어려운 기하구조 특성인 차로 수와 이격 거리 변수를 제외하여 구성한 모형으로 수정된 결정계수 값이 0.6990으로 추정되었고 변수 간 부호 추정과 유의성 검정도 강력하게 유의한 값이 추정되었지만 기하구조에 대한 해석이 불가능한 단점을 가지므로 최적모델에서 제외한다. 모형의 형태는 다음 식과 같고 구체적인 통계 값은 <표5-3>와 같다.

$$Y_{\text{Ln(차로변경시간)}} = 2.145 - 0.523X_1 + 0.300X_2 + 4.578X_3$$

수정된 $R^2 = 0.6990$	구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	공선성 통계량		AIC
상수	-	2.145	.093	23.167	0.000	공차	VIF	78.81
Ln(차로변경속도)	$X_1$	-0.523	.032	-16.154	0.000	0.981	1.019	
횡단 차로 수	$X_2$	0.300	.041	7.365	0.000	0.986	1.014	
주기종료 시 밀도	$X_3$	4.578	.405	11.311	0.000	0.992	1.008	

<표 5-3> 모형2에 대한 통계 값

모형3은 모든 독립변수에서 차로수 만을 제외한 모형으로 수정된 결정계수 값은 0.7074으로 추정되었다. 차로수 변수를 반영 할 수 없지만 이격 거리 변수를 설명할 수 있는 변수가 추가되어 모델을 바탕으로 적정 이격 거리를 추정 하는데 활용 할 수 있다. 또한 모든 변수의 부호가 정확하게 추정되었고 유의성 검정에서 강력한 값이 추정 되었으므로 이 모델을 최적모델로 선정한다. 모형의 형태는 다음 식과 같고 구체적인 통계 값은 <표5-4>와 같다.

$$Y_{\text{Ln(차로변경시간)}} = 2.551 - 0.580X_1 + 0.274X_2 + 4.417X_3 + 0.002X_5$$

수정된 $R^2 = 0.7074$	구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	공선성 통계량		AIC
상수	-	2.86	0.228	12.558	0.000	공차	VIF	70.45
Ln(차로변경속도)	$X_1$	-0.53	0.028	-18.72	0.000	0.746	1.340	
횡단차로 수	$X_2$	-0.15	0.042	-3.468	0.000	0.945	1.058	
주기종료 시 밀도	$X_3$	4.05	0.326	12.444	0.000	0.889	1.125	
이격 거리	$X_5$	0.30	0.028	10.904	0.000	0.671	1.491	

<표 5-4> 모형2에 대한 통계 값

### 5.3 모형의 활용

추정한 최적 모형을 바탕으로 주어진 밀도와 차로변경 속도 조건에서 횡단해야 하는 차로수가 1차로씩 증가함에 따라 필요한 적정 이격 거리를 산출하였다. 차로변경 시간 기준 값은 비침두시에 촬영한 노량진의 평균차로변경시간 값을 사용 하였고 차로변경 속도는 모든 차로 변경 값의 평균값을 사용하였고 주기 종료 밀도는 정체 상황을 표현하기 위하여 주기 종료 시 밀도 값 중 가장 높은 값을 적용 하였다. 추정결과 적정 이격 거리는 <표5-5>와 같고 횡단 차로수가 증가할수록 1차로가 늘어남에 따른 추가 이격 거리의 크기는 커지는 것으로 나타났다.

차로 변경 시간 기준값 (비침두 평균값)	차로 변경 속도(m/s)	주기 종료 시 밀도 (대/m)	횡단 차로 수	적정 이격 거리(m)	급간 차이
7.58초	6.56	0.197	1	273.1	142.4
			2	415.5	142.5
			3	558.0	
			4	700.4	142.6

<표 5-5> 모형3으로 적정 이격 거리를 산정한 결과 값



## 제6장 결론 및 향후 과제

### 6.1 결론

본 연구에서는 노선버스의 엇갈림 현상이 일어나는 도시부 신호교차로에 대해서 신호특성, 교통류 특성, 기하구조 특성, 차로변경 특성을 반영하여 노변 버스정류장에 좌회전차로로 연속적인 차선변경의 하는 버스의 차로변경의 영향요소를 분석하였다. 분석 자료는 동영상 자료를 통해 구득하고 adobe premier pro 동영상 편집 패키지를 활용하여 영상으로부터 신호특성, 교통류 특성 차로변경 특성을 추출하는 과정을 거친뒤 통계패키지 프로그램 R을 이용하여 회귀분석을 수행 하였다.

분석 결과 종속변수인 차로변경시간에 대하여 차로변경특성인 차로변경 속도, 횡단 차로수가 선택되었고, 교통류 특성으로 주기종료 밀도, 기하구조 특성으로 교차로에서 차로변경 완료지점 간 이격 거리가 선정되었다. 기하구조특성 중의 하나인 차로 수는 설명변수에서 제외 되었다.

차로변경 속도의 영향은 차로변경속도가 증가할수록 차로변경 시간이 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 구간의 혼잡이 심하지 않을 때 버스가 상대적으로 자유롭게 차로변경을 할 수 있으므로 목표차로의 속도까지 손쉽게 가속할 수 있는 환경에서 그렇지 않을 때 보다 긴 거리를 주행하면서 빠르게 차로변경을 수행하게 된다. 따라서 차로변경속도는 증가하고 차로변경 시간은 감소하는 결과가 나타난다.

밀도의 영향은 밀도가 증가할수록 버스의 차호변경 시간이 감소하였는데 이는 밀도가 증가하여 교차로가 혼잡한 상태가 되면, 버스의 차로변경을 위한 간격의 크기와 빈도수가 감소하게 된다. 따라서 버스가 Nosing을 하거나 간격을 찾기 위해 교차로에 정지 상태로 일정시간 대기하는 시간이 발생하며 이에 따

른 차로 변경 소요시간이 크게 증가 하는 것으로 나타났다.

횡단 차로 수에 대한 버스의 차로 변경 시간은 횡단차로수가 증가함에 따라 증가하는 추세를 보였으며 1차로의 추가 횡단이 발생 할 때 마다 확보 되어야 할 이격 거리가 추가적으로 필요 하며, 이 거리가 확보될 경우 일정한 수준의 차로변경시간을 유지할 수 있는 것으로 분석되었다.

## 6.2 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구에서 차로변경시간에 대하여 교통류 및 기하구조, 차로변경 특성을 모형추정을 통해 분석한 결과 교통류 특성과 차로변경 특성의 영향은 강력하게 추정된 반면 기하구조에 대한 영향은 비교적 미비하게 추정된 경향이 있다. 이는 전체 대상 구간 중 10개 구간을 분석할 결과 값이므로 기하구조 다양성의 반영에 한계를 가진다. 따라서 추가적으로 지점조사가 필요하다.

또한 본 연구의 모형의 결과 교통량 변수가 가장 중요한 요소로 나타났는데 현재 운영되고 있는 버스 정류장의 평가에 그치지 않고 현실적인 정류장 위치 개선을 위한 지침으로 활용하기 위해서는 모형 계수 추정에서 이격 거리에 대한 비중이 높여야 한다. 또한 버스 차로 변경을 원인으로 발생한 지체가 구간 전체의 지체에 미치는 영향을 분석하는 연구가 진행되어 연구의 완성도를 높일 필요가 있다.

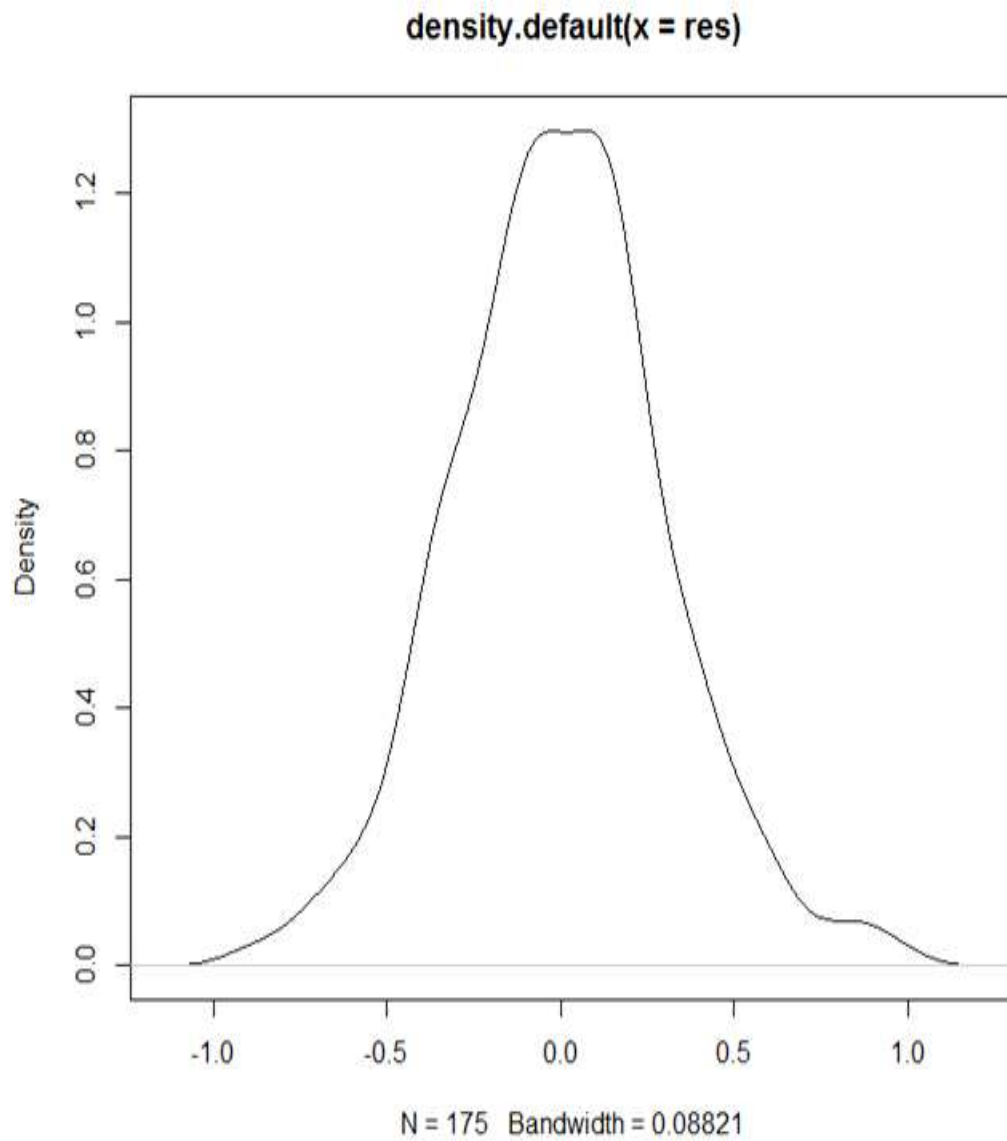
## 참고문헌

1. 국토해양부, “도로 구조·시설 기준에 관한 규칙”, pp.129-629, 2011.
2. Chen C., Yu L., Zhu L., Guo J. and Sun M. “Microscopic Traffic Simulation Approach to the Capacity Impact Analysis of Weaving Sections for the Exclusive Bus Lanes on an Urban Expressway”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 136, No. 10, 2010.
3. Drew, D.R., Lamotte, L.R., Buhr, J.H. “Wattleworth, J.A. Gap acceptance in the freeway merging process”. HRR 208, pp. 1-36, 1967.
4. Ha T. J., Park J. J., Lim H. Y., "Determination of the Required Minimum Spacing between Signalized Intersections and Bus-Bays", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 20, No. 4, Korean Society of Transportation, pp.73~82, 2008.
5. Jang J. A., Lee J. W., Choi K. J. “A Gap-acceptance Model Considering Driver’s Propensity at Uncontrolled Intersection”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 26, No. 6, Korean Society of Transportation, pp.71~80, 2008.
6. Kang H. I., Park C. H. “Development of Classified Congestion Functions”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.16, No.2, Korean Society of Transportation, pp.117-135, 1998.
7. Kim W. K., Kim B. J., Park M. K. “Development of Shock Wave Delay Estimation Model for Mixed Traffic at Unsaturated Signalized Intersection”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.6, Korean Society of Transportation, pp.75-84, 2010.

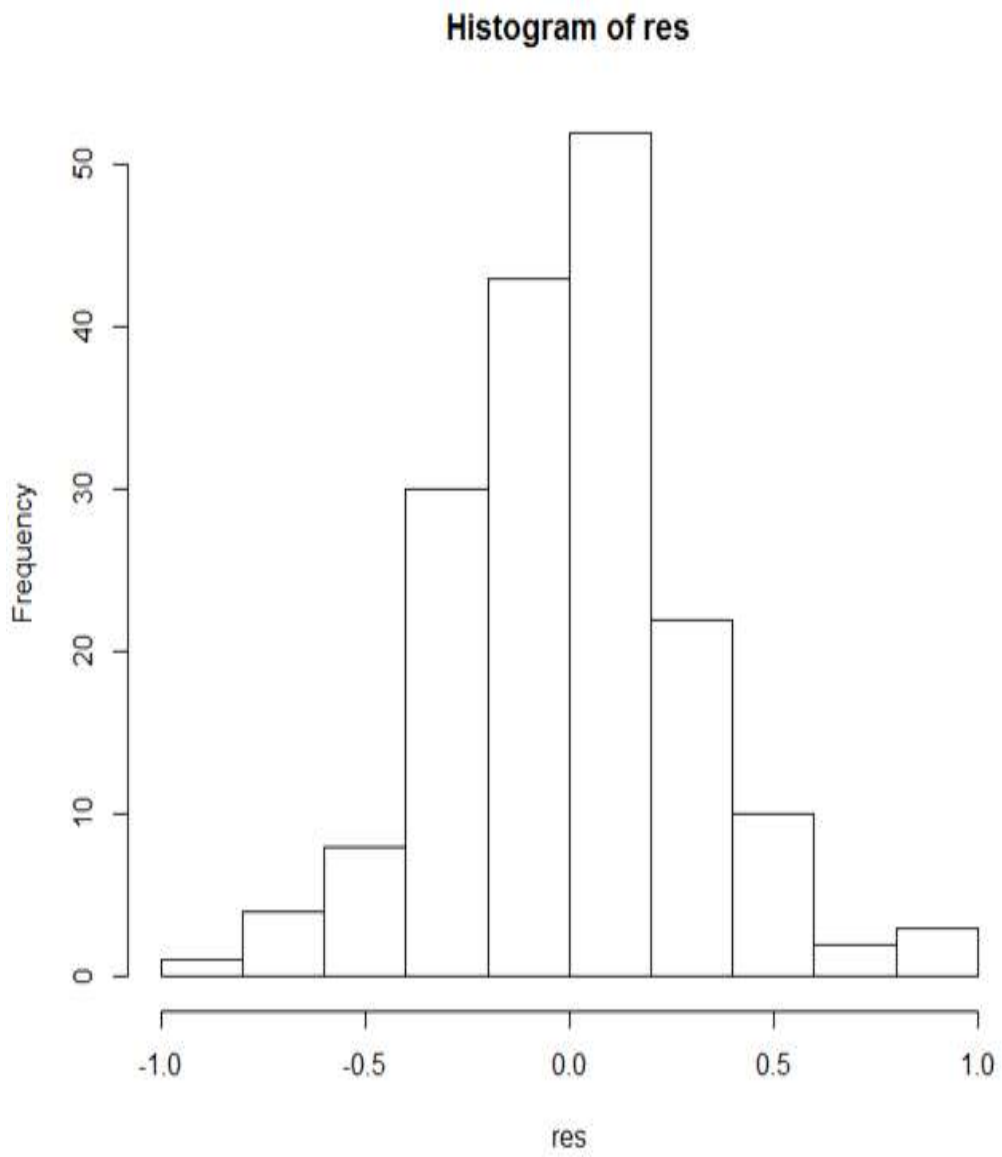
8. Knox, D.W. "Merging and weaving operations in traffic. Australian Road Research, Vol. 2, pp.10-20, 1964.
9. Korean Society of Transportation. Highway Capacity Manual, pp.64-536, 2013
10. Kremser, H., "A complex problem of delay with Poisson traffic flow". Oesterreichisches Ingenieur Archiv (Austrian Engineering Archive), Vol. 16, 1962.
11. Lee J. H., Kwon S. D., Park J. J. and Ha T. J. "A Method for Locating Bus Stop Considering Traffic Safety at Signalized Intersections", Journal of Korean Society of Civil Engineering , Vol.31, No.4D, Korean Society of Civil Engineering , pp.527-538, 2011.
12. Oh S. J., Park S. H., Park B. H. "Development of Travel Time Functions Considering Intersection Delay", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.4, Korean Society of Transportation, pp.76-63, 2010.
13. Yang C. S., Mattingly S. P., Kim H. W. and Kwon Y. J. Design Guideline Development for Managed Lane Access Spacing Using Gap Acceptance Theory, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.4, Korean Society of Transportation, pp.177-185, 2010.
14. Yang C. S. "A Study on the Safety-Maximizing Design of Exclusive Bus Lanes", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.30, No.4, Korean Society of Transportation, pp.21-32, 2012.

부록. AIC 반영을 위한 추정모형 잔차의 정규성 검정

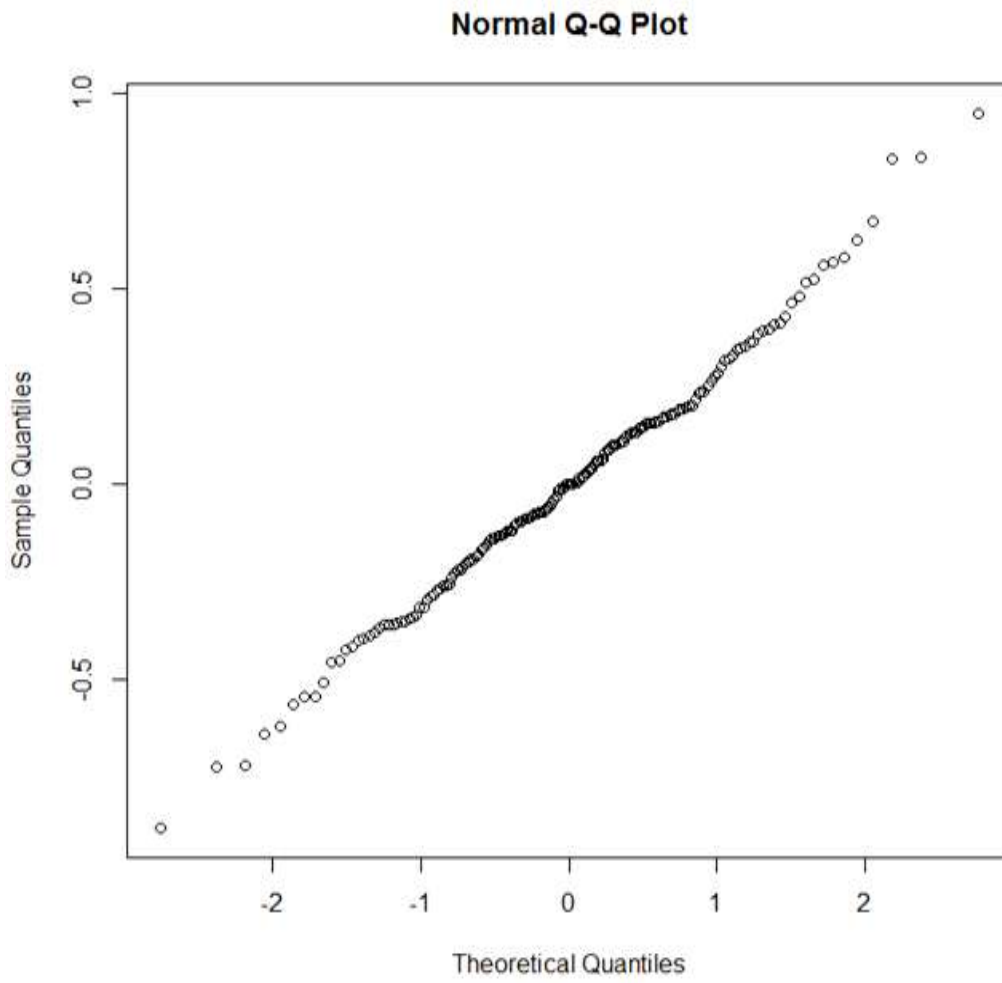
[부록 1] Density of Residuals



[부록 2] Histogram of residuals



[부록 3] Normal Q-Q Plot



## ABSTRACT

### Estimation of Appropriate Separation Distance between Road-side Bus Stop and Signalized Intersection Considering Traffic Density of Intersection Approach

Park, Se Hwan  
Department of Civil and Environmental Engineering  
The Graduate School  
Seoul National University

This study dealt with bus lane change occurring within signal intersections. The objective was to develop execution time models for bus lane change by using multiple regression models. In pursuing the above, this study used a statistical program R i386 3.0.2 to accommodate data from 272 bus lane changes occurred within 10 intersections of Seoul. In addition, appropriate bus stop spacing were calculated. The main results are as follows. First, lane change speed and bus stop spacing were analyzed negative linear relationship with bus lane change time. Second, lane change time exponentially increase with density and number of lanes crossing. Third, applying non-peak data to the model, estimation result is as follows. appropriate bus stop spacing is 273m at two-lane road, and 142m of additional spacing is needed when 1 lane is added.



Keyword : Bus lane change maneuver, Bus stop location, Interrupted flow, Multiple linear regression

Student Number : 2012-20902



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

교차로 접근로의 통행밀도를 고려한 가로변  
버스정류장과 신호교차로 간 적정 이격 거리 산정

Estimation of Appropriate Separation Distance between  
Road-side Bus Stop and Signalized Intersection  
Considering Traffic Density of Intersection Approach

2014년 2월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

박 세 환

교차로 접근로의 통행밀도를 고려한 가로변  
버스정류장과 신호교차로 간 적정 이격 거리 산정  
Estimation of Appropriate Separation Distance between Road-side Bus  
Stop and Signalized Intersection Considering Traffic Density of  
Intersection Approach

지도교수 고 승 영

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2013년 10월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

박 세 환

박세환의 공학석사 학위논문을 인준함.

2013년 12월

위 원 장 (인)

부 위 원 장 (인)

위 원 (인)

## 국문초록

이 연구는 신호교차로 인근 노변 정류장에서 발생하는 버스 차로변경을 다루고 있다. 연구의 목적은 다중회귀분석을 이용한 버스 차로변경 소요시간 모형을 구축하고 이를 활용하여 정류장 적정 이격 거리를 산정하는 것이다.

이를 위해 이 연구는 서울시 신호교차로 10개소에서 발생한 272건의 버스 차로 변경 자료와 통계 프로그램인 R i386 3.0.2를 이용하였다. 또한 구축한 모형에 비첨두시 값을 적용하여 적정 이격 거리를 산정 하였다.

주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 버스 차로변경 시간과 버스의 차로변경 속도, 이격 거리는 음의 선형 관계를 갖는 것으로 분석 되었다. 둘째, 버스의 차로 변경 시간은 주기 종료 시의 구간 밀도와 버스의 1회 차로 변경 당 횡단 차로수의 증가에 따라 지수함수 형태로 증가 하는 것으로 분석되었다. 셋째, 개발된 모형에 비첨두시의 버스 차로 변경 시간 및 차로 변경 속도, 밀도를 고정한 후에 적정 이격 거리를 추정 한 결과, 적정 이격 거리는 2차로 도로 273m에서 1차로 수 증가 마다 약 142m 증가하였다.

주요어: 버스 차로변경, 버스정류장 위치, 단속류, 다중선형회귀

학 번: 2012-20902

## <차례>

<b>제1장 서론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 의의와 구성 .....	4
<b>제2장 기존연구고찰</b> .....	<b>6</b>
2.1 간격수락에 관한 연구 .....	6
2.2 연속류 차로변경에 관한 연구 .....	10
2.3 단속류 차로변경에 관한 연구 .....	10
2.4 교차로 지체 산정에 관한 연구 .....	12
2.5 버스정류장에 대한 국내 기준 .....	13
<b>제3장 분석 방법론</b> .....	<b>16</b>
3.1 분석방법 .....	16
3.2 회귀모형 .....	16
3.3 분석절차 .....	18
<b>제4장 모형 구축 및 분석</b> .....	<b>19</b>
4.1 분석 변수 선정 .....	19
4.1.1 차로변경의 정의 .....	19
4.1.2 버스 차로변경특성 관련 변수 .....	20
4.1.3 교차로 혼잡관련 변수 .....	20
4.1.4 기하구조 관련 변수 .....	20
4.2 분석대상구간 .....	21
4.3 데이터 수집 방법 .....	25
4.4 데이터 가공 방법 .....	26
4.5 Data set 구성 .....	27
<b>제5장 분석결과</b> .....	<b>29</b>

5.1 기술 통계량 .....	29
5.2 모형추정결과 .....	29
5.3 모형의 활용 .....	32
<b>제6장 결론 및 향후 과제 .....</b>	<b>33</b>
6.1 결론 .....	33
6.2 연구의 한계 및 향후 과제 .....	34
<b>참고문헌 .....</b>	<b>35</b>

## <표 차례>

<표 2-1> 연속류와 단속류의 차로변경에 관한 연구 .....	11
<표 2-2> 설계 속도 80km/h에서 엇갈림 구간의 길이 .....	14
<표 2-3> 버스정류장의 제원 (일반도로) .....	15
<표 4-1> 현장조사 지점 개요 .....	25
<표 4-2> Data set 예시 .....	27
<표 5-1> 기술통계량 .....	28
<표 5-2> 모형1에 대한 통계 값 .....	29
<표 5-3> 모형2에 대한 통계 값 .....	30
<표 5-4> 모형2에 대한 통계 값 .....	30
<표 5-5> 모형3으로 적정 이격 거리를 산정한 결과 값 .....	31



## <그림 차례>

[그림 1-1] 작은 간격에서 버스의 차로변경에 의한 후행차량 정체 .....	2
[그림 1-2] 차로 변경 시에 복수의 차로를 한 번에 점유하는 경우 .....	3
[그림 2-1] 교차로에서의 간격수락 .....	7
[그림 2-2] 연속류 연결로에서의 간격수락 .....	7
[그림 2-3] 대표적인 간격수락함수 .....	9
[그림 3-1] 분석 순서도 .....	18
[그림 4-1] 봉천로 사거리 .....	22
[그림 4-2] 보라매역 사거리A .....	23
[그림 4-3] 보라매역 사거리B .....	24
[그림 4-4] 데이터 수집범위 .....	26
[그림 4-5] 데이터 가공법 .....	26

# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

2013년 현재 서울시 버스는 401개 노선이 운영되고 있다. 도심 지역을 운행하는 버스노선은 점점 증가하여 약 7000 여 대가 운행 중에 있다. 버스의 증가에 따라 기존의 교통류와 버스간의 상호 작용도 증가 하였다. 특히, 버스의 차로변경에 따른 기존 교통류의 지체의 증가는 간과할 수 없는 부분이다. 도시부 도로의 경우 신호가 설치된 도로가 상당수이며 신호제어에 의해 차량의 소통이 이루어진다. 그러나 신호에 의한 지체뿐만 아니라 버스의 차로변경에 의한 지체 또한 도시부 단속류 도로에서 발생하고 있다. 버스의 경우 노선에 의해 운행 경로가 정해진 대로 운행되는 특징을 가지므로 차로 변경이 불가피한 경우가 발생한다. 특히 경로 상에 연속적인 차로변경을 포함하는 노선의 경우에는 다른 차량들의 소통에 악영향을 미친다. 이러한 노선 중 대표적인 경우가 교차로에서 좌회전 하는 노선의 직전 정류장이 노변에 위치한 경우이다. 신호교차로 유입부에 인접하여 정류장이 설치된 버스 정류장의 경우 해당 정류장에서 승객의 승·하차가 이루어지면서 발생하는 일반적인 지체에 추가적으로, 최소 2회에서 최대 4회의 연속된 차로변경을 하면서 다른 차량의 통행에 영향을 미치게 된다. [그림1-1]은 버스의 차로변경에 의해 차로변경 목표 차량이 속도를 줄이는 현상을 나타내며 [그림1-2]는 버스가 차로 변경 시 여러 차로를 점유함으로써 도로 전체의 통행에 문제를 일으키는 모습이다. 이러한 특징을 가지는 노선의 정류장이 전방교차로 차로변경 완료 지점까지 이격 거리가 충분하지 않거나 교통량이 도로의 용량 보다 많아 해당 도로가 혼잡할 경우에 문제가 발생한다. 버스는 계획된 노선의 경로를 벗어날 수 없다. 따라서 경로를 고수하기 위해 끼어들기 등 공격적인 운행이 불가피한 상황이 발생한다. 때문에 버스에 의한 교차로 체체

증가를 방지하기 위한 방법이 필요하다. 문제 해결을 위해 여러 가지 교통 공학적 방법이 존재하며 대표적인 방법으로 정류장 이격 거리를 충분히 확보하여 버스가 차로변경 할 수 있는 충분한 여유 공간을 확보 하는 방법이 있다. 특히 노변 정류장 정차 직후에 좌회전 차로로 진입해야하는 버스의 경우 정류장으로부터 좌회전 차로 변경완료 지점까지의 거리는 더욱 중요하다. 하지만 현재 이러한 환경에서 운행되고 있는 버스정류장 중에서 다수가 오전·오후 첨두시 차량이 집중되어 정체가 발생하며 이러한 정체는 버스의 차로변경으로 더욱 심화되는데, 노변 정류장이 교차로와의 거리가 충분하게 확보되지 않은 채 설치되어있어 해당 구간에 버스의 무리한 차로변경으로 지정체가 가중되고 있다. 따라서 부족한 이격 거리는 해당 도로의 교통류의 흐름에 미치는 영향이 매우 크다.

국내 기준에서는 기존가도에 버스 정류장 도입 시 일반차량의 영향이 최소화 되는 대책을 설정하도록 정하고 있다. 그러나 기준에서의 엇갈림길이 결정 변수는 설계속도 뿐이며 설계속도만으로 개별 차량의 엇갈림을 설명하기에는 한계가 있으며 일반 차량과 버스의 속도가 차이를 보이므로 신호 교차로에 버스의 엇갈림에 적용하기에는 한계가 있을 것으로 사료 된다.

## 1.1. 연구의 범위

본 연구의 시간적 배경은 2013년 6월부터 2013년 12월이며, 연구에서 사용되는 버스 노선은 서울시를 운행하는 버스의 노선을 기준으로 하였으며, 버스의



[그림 1-1] 작은 간격에서 버스의 차로변경에 의한 후행차량 정체



[그림 1-2] 차로 변경 시에 복수의 차로를 한 번에 점유하는 경우

연속적인 차로변경이 발생하는 교차로 주변도로의 교통류 특성을 분석에 반영하였다. 분석에 사용한 노선정보는 서울시 교통정보센터의 버스노선 안내표를 기준으로 간선도로와 지선버스 및 마을버스, 순환버스를 대상으로 하였다. 분석에 적용한 차종은 차로변경을 시도하는 주체로서 버스의 차로변경 속도와 차로변경 속도 등의 교통류 특성을 반영하였고, 차로변경의 영향을 받는 일반승용차

의 교통류 특성을 반영하였다. 분석대상 구간의 교통량은 오전·오후 첨두 1시간의 교통량을 전수 조사하여 반영하였고, 버스의 1시간 운행대수는 서울시 교통정보센터에서 제공하는 해당버스의 운행시격을 분석에 적용했다. 분석을 위한 현장 조사는 버스의 연속적인 차로변경이 기존 교통류에 영향을 미칠 것으로 예상되는 기준에 의해 선정된 장소 중에서 해당 버스의 운행 빈도가 높은 곳, 정류장과 차로변경완료구간의 이격 거리가 짧은 곳을 우선적으로 선정하여 내림차순으로 조사하였으며 비디오카메라를 통해 차로변경이 예상되는 60m~200m의 구간의 영상을 촬영하였다. 현장조사를 통해 수집한 동영상은 프레임 단위로 분석하기 위해 어도비사의 동영상 편집 프로그램인 Adobe Premiere Pro를 활용하였으며 초당 30프레임을 기준으로 조사 지점 당 30대 이상의 버스의 차로변경에 의한 조사구간내의 엇갈림 영향을 분석 하였다.

## 1.2 연구의 의의와 구성

본 연구에서는 노선버스의 연속적인 차로변경 특성을 가지는 노선의 으로 인해 동일한 도로를 주행하는 일반차량의 지체증가에 미치는 영향을 분석하였다. 버스의 연속적인 차로변경 행태를 대표할 수 있는 원인으로 차로를 가로막은 채 후방 차량의 감속 및 정지를 발생시키는 Lane blocking을 선정하였으며 Lane blocking이 발생하여 해소되는 시간을 표현하기 위하여 차로 변경 시간을 측정하여 활용하였다. 현장 조사는 노면 버스정류장에서 정차 한 후에 교차로에서 좌회전하는 경로를 가지는 노선을 선정하였으며 해당 교차로 직전의 정류장을 시작으로 차로변경 종료지점에 이르는 범위를 비디오로 촬영하였다. 촬영된 비디오 자료로부터 도로에서 주행하는 일반차량의 교통량 및 밀도를 주기별로 분할하여 구득하였다. 또한 차로변경을 시도하는 버스의 운행 빈도 및 합류속도를 측정하였으며 버스 차로 변경 시 합류 목표 차로의 전방 50미터, 후방 20미터의

차량수를 측정 하였다. 습득한 자료를 이용하여 다중선형회귀분석을 통하여 종속변수인 버스의 엇갈림 소요시간에 대한 독립변수의 영향을 버스 차로변경 특성, 도로 기하구조 특성, 혼잡도 특성의 3가지 카테고리 별로 분류하여 분석하였다. 분석을 통해 산출한 회귀 식을 이용하여 버스의 차로변경시간이 각각의 요소들에 의해 어떻게 변화하는지 해석하였다. 마지막으로 산출된 회귀 식을 이용하여 버스의 필요 차로 변경 횟수에 따른 적정한 엇갈림 길이를 산정하였으며 적정 이격 거리의 기준은 혼잡하기 않은 도로 조건에서 다른 차량 교통류의 흐름을 방해하지 않으면서 차로변경이 일어나는 시간을 기준으로 하였으며 이를 위해 교통 혼잡도 변수에 비 침투 밀도를 적용하였다.

## 제2장 기존연구고찰

### 2.1 간격수락에 관한 연구

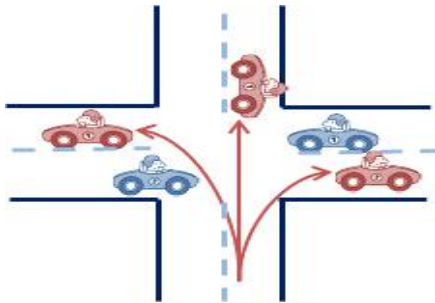
#### 1) 간격 수락의 개념

간격수락의 개념은 통행권이 낮은 도로의 운전자가 높은 통행권을 가지는 주 도로의 도로를 횡단하거나 해당 교통류에 합류하는 과정에서 운전자의 행태를 모형화하기 위한 연구에서 처음 사용되었다. 이러한 연구에서 간격수락 모형은 비 신호 교차로에서의 지체나 용량저하, 보행자의 횡단 또는 연속류 도로에서의 합류와 차로변경 행위를 설명하기 위해 사용되었다.

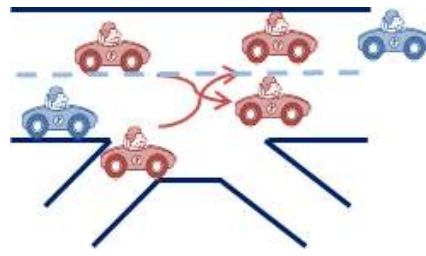
이러한 연구에서 간격수락 모형은 비신호 교차로에서의 지체나 용량저하, 보행자의 횡단 또는 연속류 도로에서의 합류와 차로변경 행위를 설명하기 위해 사용되었다. 이러한 연구들에서는 각각의 운전자가 횡단 및 차로변경을 하는 과정에서 특정한 간격을 가진다고 가정을 하였고 이를 임계간격(Critical gap)이라는 용어로 설명하였다. 임계간격의 정의는 “교통류 내의 대부분의 운전자가 특정한 위치 및 상황에서 수락할 것이라고 생각할 수 있는 최소간격”이며 또는 “운전자가 차로를 변경하기 위해 수락하는 관측 불가능한 최소간격”이라고 기존의 연구에서 정의 하였다. 운전자가 도로를 횡단하거나 차로 변경을 시도하는 상황에서 목표 차로의 차량 간 간격이 연구에서 제시하는 임계간격보다 클 경우에 운전자는 간격을 수락하게 되며 임계간격보다 작을 경우에는 기존의 차로에서 대기하며 다음번 간격을 기다리게 된다.

운전자는 크게 두 가지 상황에서 간격수락 행태를 겪게 되는데 먼저 교차로(주로 비 신호 교차로)에서 횡단과 비보호 좌회전, 그리고 우회전(RTOR)이 있으며 연속류 도로에서는 본선 내에서의 차로변경과 램프에서의 합류, 그리고 엇

갈림 상황에서 간격수락의 행태를 보이게 된다. 교차로에서 벌어지는 횡단의 경우에는 양방향으로 진행하는 교차로를 횡단해야 하므로 두 방향의 교통류 모두에 대한 간격 탐색이 이루어져야 하며 두 방향의 교통류에서 탐색되는 간격 중 최소의 간격이 횡단의 여부를 결정하는 임계간격이 된다. 그리고 연속류 교통류에서 발상하는 차로변경, 합류, 엇갈림의 경우 주행 중에 목표 차로의 속도 및 간격을 탐색하면서 이루어지므로 간격수락이 이루어지는 각각의 상황에 따라 적절한 간격수락 행태에 대한 연구가 이루어지고 있다. 기존의 간격수락에 대한 연구는 고속도로 램프 진입구간의 합류와 비 신호 교차로에서의 횡단에 대한 연구가 가장 활발하게 진행되었고 최근에는 미시적 시뮬레이션에서 차로변경 행태를 현실과 유사하게 적용하기 위한 연구에 대한 필요성이 커지면서 운전자 행태기반의 차로변경 연구가 활발히 이루어지고 있다.



[그림 2-1] 교차로에서의 간격수락



[그림 2-2] 연속류 연결로에서의 간격수락

## 2) 임계간격 추정

임계간격 분포를 가정하는 연구들에서는 특정한 간격에 대해 해당 간격보다 탐색된 간격이 크게 나타날 경우 수락하고 임계간격보다 작거나 같다고 나타날



경우 간격을 거부한다고 생각하였다. 따라서 개별 운전자의 임계간격을 측정 하는 데는 어려움이 있다. Drew(1966)는 이를 해결하기 위해, 간격을 수락하기 전에 한번이상 간격을 거부한 운전자만을 선별해 관측한 후, 운전자의 임계간격이 그가 거부한 최대 간격과 최종적으로 수락한 간격 사이에 존재한다는 가정을 통해 빈도분포를 얻는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 간격을 거부한 적이 있는 운전자만을 고려하게 되며, 대기 행렬의 첫 번째 차량이 도착했을 때 본선의 차량이 도착하기 전 바로 수락하는 경우에 대해서는 적용할 수 없다는 한계를 지녔다..

Herman과 Weiss (1961)는 특정 간격  $T$ 에 대해 간격을 수락할 확률은 간격수락함수  $P(T)$ 를 따른다는 좀 더 현실적인 모형을 제시하였다. 즉, 운전자가 어떤 간격  $T$ 를 수락할 확률은 그 운전자의 임계간격이  $T$ 보다 작을 확률과 같다고 가정 한 뒤,  $P(T)$ 는 임계간격 분포함수  $f(T)$ 의 적분으로 나타내었다..

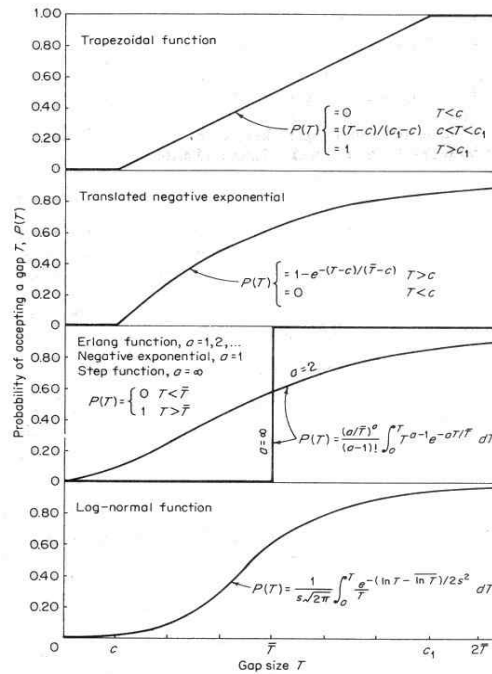
$$P(T) = \int_0^T f(T)dT$$

따라서 주어진 임계간격분포에 따라, 간격수락 함수를 정의할 수 있다. 대표적인 간격수락함수가[그림 2-3]에 나타나 있다.

이와 같이, 임계간격의 분포를 가정하는 간격수락모형들은 운전자의 실제 임계간격분포를 알 수 없으므로, 가정에 의존하게 되어 현실적인 임계간격분포를 나타낼 수 없다. 또한, 임계간격의 분포는 개별 운전자마다 다르게 나타날 수 있으므로, 이러한 모형들은 개별 운전자의 행태를 반영할 수 없다.

이 절에서 살펴본 임계간격분포기반의 간격수락모형들은 개별 운전자의 행태에 대해서는 고려하지 않았으며, 단지 임계간격을 어떻게 추정할 것인가에 중점을 둔 연구들이었다. 다음절에서는 개별 운전자의 행태를 반영하고자 한 연구

들을 살펴본다.



[그림 2-3] 대표적인 간격수락함수

본 연구에서 활용한 “이상적인 안전 간격”이란 차로 변경 시에 안전한 차로 변경을 위해서 합류하는 차량의 합류 속도가 정해진 상황에서 합류 목표 차량의 선행차량과 후행차량의 속도를 반영하여 안전한 차간간격을 산출한 것으로 교통류가 와해되지 않으면서 차로변경이 가능한 간격을 말하며 차로 변경 시에 발생하는 가속 과정 및 반응 시간에 의한 지체를 포함한 시격이다. 단, 여기서 운전자 반응시간은 자극을 인지하고 판단한 뒤의 반응시간만을 말한다. 이는 Drew 외(1967)의 연구에서 처음 제시된 개념을 knox(1964)의 연구에서 현장 조사를 통해 Calibration한 값을 사용 하였다.

## 2.2 연속류 차로변경에 관한 연구

양철수 외(2010)는 고속도로 진출입 구간에서 고속도로 중앙을 가로질러 위빙(weaving)하여 진입하는 차량에 대한 엇갈림길이 구간을 산정하였으며 간격수락 이론을 이용하여 차량의 위빙에 대한 성공확률을 함수로 표현하여 적정 위빙 구간의 길이를 산정하였다[2]. 이어지는 후속연구에서 양철수(2012)는 동일한 현상이 발생하는 고속도로 진출입 구간에서 시뮬레이션을 활용하여 차량의 궤도를 측정하여 위빙 시에 발생하는 상충의 횡수를 산정하였으며 상충횡수와 엇갈림 구간의 길이를 다중회귀모형으로 정립하였다[3]. Chen 외(2010)는 도시고속도로에서 진출입구 배열에 따른 위빙구간의 거리 산정하였으며 일반차량의 교통량 및 버스의 시간당 운행 대수, 위빙구간길이를 변화시켜가며 다양한 시나리오 분석을 시뮬레이션을 통해 수행하였으며 위빙구간의 길이는 진입구-출입구 형태를 가지는 도로일수록 노변정류장일수록 민감하게 변화한다는 분석 결과를 도출 하였다.

## 2.3 단속류 차로변경에 관한 연구

하태중 외(2002)는 신호교차로 유입부 정류장에서 정차한 후 좌회전하는 노선의 적정 정류장 이격 거리를 산정하였으며 버스의 진행각도 및 버스의 속도, 신호조건이 단순화 되어 분석에 사용되었다. 장정아 외(2008)는 무통제 교차로에서 운전자의 간격수락 특성을 고려하여 무통제 교차로에서 차량 흐름을 분석하였고 비디오 촬영을 통한 현장자료를 로짓 모형으로 모형화 하였으며 무통제 교차로에서 운전자의 성별과 나이, 동승자의 유무 등의 영향을 분석하였다. 이정환 외(2011)은 신호교차로에서 정류장 위치에 따른 버스정류장 설치 기준을 제시하였으며 간격수락과 대기행렬이론, 보행자 특성, 한계 사고율 등

신호교차로의 종합적인 특성을 모두 고려하였다.

이와 같이 연속류와 단속류 모두에서 버스가 차로변경으로 도로중앙을 가로질러 위빙 하는 현상을 해석하려는 시도 가 있었고 특히 단속류 에서는 운전자 특성, 차량특성, 보행자, 도로 환경 등 고려 할 것이 많기 때문에 다양한 관점에서 연구가 진행되었다 본 연구에서는 노선을 가지는 버스의 경로에 의해 발생하는 위빙현상의 영향으로 일반차량 운전자가 겪게 될 지체현상에 연구의 초점을 맞춘다.

분류	연구범위	저자	발표년도	특징
연속류	연속류 연결로	Yang et al.	2011	• 간격수락 이론을 이용한 상층의 지수를 기초로 하여 엇갈림 구간 길이 산정
	연속류 연결로	Yang	2012	• 시뮬레이션으로 차량 궤도에 따른 상층을 측정하여 엇갈림 구간 길이 산정
단속류	무통제 교차로	Jang et al.	2008	• 운전자 특성을 고려 무통제 교차로 간격수락 분석
	신호 교차로	Lee et al.	2011	• 간격수락과 대기행렬이론을 바탕으로 엇갈림 길이를 산정 • 보행 특성 및 한계사고율을 고려하여 버스정류장의 안전 고려
	신호 교차로	Tian et al.	2006	• 확률 모형을 이용한 우회전 전용 차로 적정 용량 산정
	신호교차로	본연구	2013	• 시내버스 노선 경로에 포함된 엇갈림 구간 분석

<표 2-1> 연속류와 단속류의 차로변경에 관한 연구

## 2.4 교차로 지체 산정에 관한 연구

강호익 외(1998)은 도로유형별로 지체함수를 정립하기 위하여 교통배정을 통해 구해지는 추정 링크 통행량과 실측통행량을 비교해가며 정산하는 방법과 교통량-속도 관계로부터 직접 구하는 두 가지 방식 중에서 두 번째 방식인 교통량-속도 관계로부터 직접 도로 유형별 지체함수를 구하여 교통 배정에 적용하는 새로운 방법을 적용하였다. 이 연구에서는 교통망 전체에 대하여 단일 지체함수를 적용하는 기존 방법은 위계를 달리하는 도로들에 대하여 같은 값을 적용하는데 한계를 지적하며 도로 위계에 따라 구분하여 적용할 수 있는 지체함수를 적용하는 방법론을 정립하였다. 연구 결과 이전의 방식에서는 다소 과소 추정되었던 고급도로의 교통량에 대해서 보다 현실적인 교통량이 배정됨으로서 상대적으로 과소평가되었던 고속도로 등 고급도로에 대하여 현실에 가까운 실제 타당성을 반영할 수 있게 되었다. 다음으로 단속류의 신호교차로에 대한 논문들을 살펴보면 오상진 외(2008)는 교차로 지체를 고려한 통행시간함수를 개발하고, 이를 도시가로망에 적용하여 분석하는데 그 목적을 두고 있다. 이는 기존통행배정 모형이 교차로 지체를 적절히 고려하지 못하고 있다는 분석에 근거하고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 링크의 통행시간을 구간순행시간과 교차로 지체시간으로 구분하고, 청주시 주행속도, 교통량, 기하구조 및 신호운영 자료 등을 수집하여 계획단계에 적절한 구간순행시간과 교차로 지체시간 산출모형을 구축하고, 이를 통행배정 단계에 적용하여 그 타당성을 분석하였다. 이 연구에서는 교차로 지체시간을 산출하기 위해 교차로의 녹색시간비 대신 접근로의 차로수 비율을 교차로 유형별로 보정한 후, 이를 실제 녹색시간비율과 비교하여 보정 차로수비율을 모형구축에 적용하였다. 둘째, 기존의 BPR모형과 보정 차로수비를 이용한 균일지체기반 수정모형 및 Webster기반 수정모형을 이용하여 청주시 가로망에 통행 배정하여 주행속도 조사 자료와 비교한 하여 교차로

지체를 반영하였고 배정결과와 실측 통행시간, 교통량, 평균 통행 속도 간 통계 검증 결과 통행시간 분리모형이 BPR모형 보다 실측치와의 통계적 오차가 감소하는 것을 확인하였다. 김원규 외(2010)는 교통 네트워크상에서 지체가 발생하는 중요 지점인 신호 교차로에 대해서 운전자와 교통 전문가들이 일반적으로 가장 잘 이해하기 쉽고 중요한 MOE(Measure of Effectiveness)인 지체에 대하여 수평 충격과이론을 적용하여 모형을 구축하였다. 김원규 외(2010)는 실제 교통류가 혼합교통류인데 반해, 지금까지의 지체 측정 모형 대부분은 동질 교통류를 가정한 연구로 수행된 점을 지적하면서, 버스와 승용차로 이루어진 비 포화 혼합교통류 상황에서, 신호교차로와 버스 정류장에서 사이에서 발생하는 지체를 직접 산정하기 위한 모형을 개발하였다. 해당 모형은 혼합교통류의 모든 교통상황을 반영한 모형이라기보다 2차로 도로에서 버스의 정차로 인한 지체현상을 설명하는데 주안점을 두었다. 모형의 검증은 지체 산정모형과 시뮬레이션인 INTEGRATION의 결과값을 비교하여 모형적용에 대한 유효성을 평가하였고, 평가결과 버스의 유입량에 대한 비교에서는 버스의 대수가 많아질수록 평균 지체량은 늘어나는 것으로 나타났으며 신호 교차로와 버스 정류장의 이격 거리에 대한 비교에서는 버스가 전방차량의 영향을 받지 않는 경우 일정한 값을 유지한다고 분석하였다.

## 2.5 버스정류장에 대한 국내 기준

도로용량 편람에서는 고속도로의 설계속도와 엇갈림 교통량 비에 따른 엇갈림구간의 길이를 제시하고 있으며 기준은 다음 <표 2-2>과 같다.

교통용량편람(2013)에서는 고속도로 진출입로에서 발생하는 엇갈림을 주로 다뤘으며 신호교차로에서 버스 노선에 의한 엇갈림 영향에 대한 기준은 제시하지 않고 있다.

국토해양부에서 발간하는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(2012에서는 일반도로의 버스정류장에 대한 제원을 <표2-3>와 같이 제시하였다.

하지만 이 기준은 본선과 분리된 버스정류장에 한해서 제시된 기준이 때문에 본선의 노변에 제일 가까운 한 차로를 가속차로 및 버스 정차대로 사용하는 노변정류장의 경우에는 적합하지 않으며 본 연구에서는 분리된 정류장이 아닌 노변정류장에 대한 적정 이격 거리를 산정하고자 한다.

교통량 비(VR)	엇갈림 구간 길이(L, m)			
	150	300	450	600
<b>N=3(본선 2차로)</b>				
0.10	4,600	4,800	4,900	5,000
0.20	4,500	4,700	4,800	4,900
0.30	4,400	4,600	4,700	4,800
0.40	4,300	4,500	4,600	4,700
<b>N=4(본선 3차로)</b>				
0.10	6,200	6,400	6,600	6,700
0.20	6,100	6,400	6,500	6,600
0.30	6,000	6,400	6,400	6,500
0.40	5,900	6,400	6,300	6,400
<b>N=5(본선 4차로)</b>				
0.10	7,800	8,000	8,300	8,400
0.20	7,700	7,900	8,200	8,300
0.30	7,600	7,800	8,100	8,200
0.40	7,500	7,700	8,000	8,100

<표 2-2> 설계 속도 80km/h에서 엇갈림 구간의 길이

설계속도(km/h)	지방지역				도시지역		
	80	60	50	40	60	50	40
감속차로길이(m)	35 (95)	25	20	20	20	15	12
감속차로길이(m)	15	15	15	15	15	15	15
가속차로길이(m)	40 (140)	30	25	25	25	20	13
버스정류장길이(m)	90 (250)	70	60	60	60	50	40
엇갈림길이(m)	80	50	40	30	50	40	30

주.( )안은 일부 출입을 제한한 경우의 값

<표 2-3> 버스정류장의 제원 (일반도로)



## 제3장 분석 방법론

### 3.1 분석방법

본 연구에서는 가장 대표적인 통계적 방법론 중 하나인 회귀분석을 이용하였다. 다중회귀분석을 이용하여 변수간의 통계적 선형 함수식을 파악함으로써 상호관계를 추론하는 회귀 식을 산출하였다. 본 연구에서 산출된 회귀식으로 수립된 모형은 회귀모형으로 통칭하였다. 분석에는 통계패키지 R 3.0.1 버전이 사용되었다.

### 3.2 회귀모형

회귀모형은 한 변수를 종속변수로, 그리고 다른 변수들을 설명변수로 설정하여 이들 간의 관계를 모형화한 것이다. 설명변수가 한 개인 경우 단순 회귀 모형, 그리고 두 개 이상인 경우를 다중회귀모형이라고 한다. 다중회귀모형은 여러 개의 변수들 간의 관계를 함수식으로 모형화한 것으로서 한 개의 종속변수를 여러 설명변수들의 선형 함수식으로 표현하는 통계적인 모형이다. 일반적으로 이 추정된 모형을 사용하여 예측에 이용하거나 관계 규명을 위한 추정 및 검정을 실시하게 된다. 종속변수를  $Y$ 로,  $k$ 개의 설명변수들을  $X_1, \dots, X_k$ 로 표기할 때 회귀모형은 [식 1]과 같이 표현된다.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \cdots + \beta_k X_k + \epsilon_i,$$
$$\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n$$

$Y$  : 종속변수

$X$  : 독립변수

$\alpha, \beta_i$  : 회귀계수,  $i= 1, 2, \dots, k$

$\epsilon_i$ : 오차항

이 회귀모형에서  $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_k$ 를 회귀계수라고 부르며 이 값들은 데이터로부터 추정된다. 즉, 설명변수 X가 종속변수 Y값에 미치는 영향력을 나타낸다. 분석을 위해 추가된 데이터를 이용하여 설정한 회귀모형은 각 회귀계수에 대한 추정치를 주어진 자료로부터 구할 수 있으며 구해진 추정 식(예측 식)은 다음과 같다.

$$\widehat{Y} = \widehat{\alpha} + \widehat{\beta}_1 X_1 + \widehat{\beta}_2 X_2 \cdots + \widehat{\beta}_k X_k \quad (\text{식 2})$$

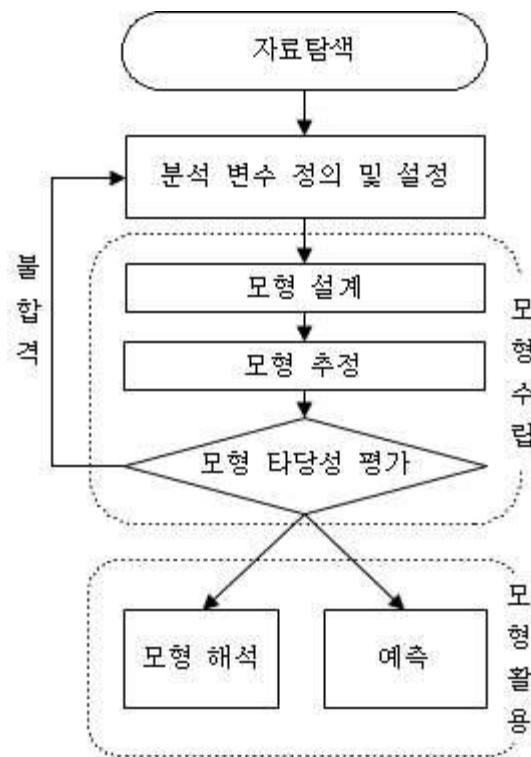
이 때, 회귀모형에서 결정계수( $R^2$ )의 값은 종속변수의 총 변동에 대한 설명변수들의 설명력의 크기를 나타내는 척도이기 때문에  $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 범위를 갖게 되며 1에 가까울수록 설명변수들이 종속변수를 잘 설명하고 있다고 판단하고 그 반대로 0에 가까우면 설명변수들이 합당하지 않게 추가되었다고 판단한다. 회귀 이론에서는 회귀식에 포함되는 설명변수의 수가 늘어나면 결정계수

의 값이 자동적으로 높아지므로 수정된 결정계수(adjusted R-squared)를 사용한다. 비슷한 개념으로, 설명변수들이 선형가정을 만족하면서 종속변수를 잘 설명해내는지에 대한 통계적 가설검정을 거칠 수 있다. 이를 회귀요인에 대한 분산 분석이라 하며 모형 적합 통계량을 확인하는 과정에 해당한다. 모형 설정 시 설명변수 각각이 가지는 설명 정도의 크기가 서로 다를 수 있으므로 이를 적절히 조절하여 선택하는 변수선택법을 모형평가 과정에서 적용할 수 있다. 변수에 대한 또 다른 기준으로는 회귀모형에 적용되는 중요한 전제조건 중의 하나인 설명변수들의 상호 독립성을 확인하는 방법이다. 이를 위해 다중공선성

(multicollinearity) 진단을 수행하는데 각 변수의 다중공선성에 대한 분산팽창 계수(VIF ; Variation inflation Factor) 수치가 10을 넘으면 변수 간 상관관계가 높은 것으로 판단하여 변수를 삭제시킨다. 이렇게 선택된 변수들에 대한 추정 계수 값의 통계적 유의성을 검토하기 위해 각 계수별 t-검정을 수행하며, 유의 확률이 유의수준보다 작은 수치를 나타내야 해당 회귀계수가 계적으로 유의하다고 판단한다.

### 3.3 분석절차

본 연구에서 수행한 회귀모형에 대한 수립 절차는 다음 순서도와 같다.



[그림 3-1] 분석 순서도

먼저 모형수립에 사용될 자료를 탐색한 후 변수를정의 및 설정한다. 선정된 데이터를 이용해 회귀분석을 수행하여 모형을 수립한 후 여러 기준을 통해 검토하여 변수를 재설정하거나 모형을 선정한다. 이렇게 선정된 모형이 예측 등에 활용된다.

## 제4장 모형 구축 및 분석

### 4.1 분석 변수 선정

교차로 전체 지체를 야기하는 요소는 버스의 차로변경과 차로변경 과정에서 발생하는 감속, 정지, Nosing 등 이 있다. 이러한 요소를 모두 포함하는 변수로서 버스의 차로변경 소요 시간을 종속변수로 정하였다. 그리고 교차로 인근 노변 버스 정류장에서 버스의 차선변경시간이 도로 및 교통류 조건에 의해 어떻게 변화하는지 각 요소의 영향을 조사하기 위해 변수를 선정하였다. 변수는 세 가지 갈래로 분류하여 선정하였다. 세 가지 갈래는 버스 차로변경 관련요소, 링크 혼잡특성 관련요소, 기하구조에 관련된 요소이며 각각의 갈래에 속한 설명변수는 다음과 같다

#### 4.1.1 차로변경의 정의

버스 차로 변경은 버스가 주행 중 간격을 찾아 바로 진입하는 경우와 적절한 진입 간격을 찾지 못해 도로상에 정지하여 진입간격을 탐색하다가 차로변경을 수행하는 경우 두 가지로 정의하였으며 첫 번째의 경우 버스가 차로변경을 위해 방향을 전환하는 시점부터 차로 변경 완료 후에 직진 진행 각도를 회복하기까지의 시간으로 정하였으며 두 번째 상황의 경우 버스가 진입간격을 찾기 위해 정지한 시간부터 차로변경을 완료하여 직진 주행 각도를 회복 할 때까지의 시간으로 정하였다.

#### 4.1.2 버스 차로변경특성 관련 변수

버스 차로변경관련 변수는 버스 차로변경 속도이다. 차로변경 속도는 버스가 차로 변경 하는 동안 이동한 거리를 1m단위로 측정하여 차로변경 완료 시까지의 시간으로 나누어 산정하였다.

#### 4.1.3 교차로 혼잡관련 변수

교차로 혼잡관련 변수는 버스가 차로변경을 위한 간격을 찾아 차로변경을 완료하기까지의 시간 및 거리에 매우 큰 영향을 미치는 요소이다. 구간 내 차량이 증가하여 도로가 혼잡해 질수록 버스의 차로변경을 위한 간격의 크기와 출현빈도가 감소하고 이는 버스의 차로 변경 시간 및 속도에 주요한 영향을 미치게 된다, 교차로 혼잡 변수는 주기종료시의 구간 내 밀도로 정하였는데 주기 시작시의 구간 내 차량대수에서 주기 동안 구간 내에 유입되는 차량대수와 유출하는 차량대수를 모두 표현할 수 있는 변수이기 때문이며 주기 종료 시 구간에 남아 있는 차량대수를 구간길이와 차선수로 나눈 값을 적용하였으며 단위는 대/m다.

#### 4.1.4 기하구조 관련 변수

기하구조 관련 요소는 버스의 차로변경에 의한 일반차량과의 엇갈림 정도를 결정하는 변수로서 횡단차로수와 정류장에서 차로변경완료지점인 교차로 진입선까지의 이격 거리를 선정하였다. 차로 수는 버스전용차로를 제외한 버스와 일반승용차가 모두 운행 할 수 있는 혼합 교통류 상태를 나타내는 차로의 수를 사용하였으며 좌회전 포켓의 경우 차량 대기행렬이 노변정류장 인근까지 이어지는 경우에는 좌회전 포켓도 차로 수에 포함시켰다.

## 4.2 분석대상구간

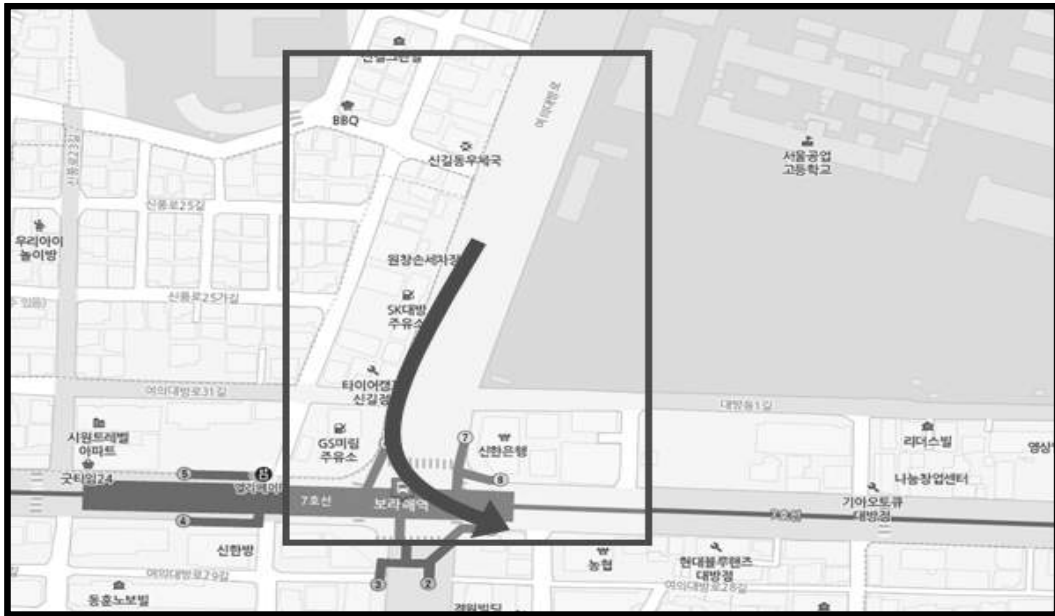
분석 대상 구간은 정류장의 형태가 노변정류장이며 정류장에서 정차를 한 후에 인접 교차로에서 좌회전을 하도록 설계된 노선의 경우 해당도로의 차로 수에 따라서 2~4회의 연속된 차로변경이 불가피한 지점으로 정하였다. 이러한 노선에서 교차로 차로변경 완료 지점과 정류장의 이격 거리가 충분하지 않거나 교통량이 많아 상습적으로 정체 발생하여 교차로 대기 행렬이 발생하는 곳을 선정하였다. 분석 대상구간의 선정 기준은 차로기준 3차로 이상의 도로(최소 2회 이상의 차로변경 발생)이며, 정류장 이격 거리 기준은 도로용량 편람에 제시된 기준에 의하면 간선도로의 버스정류장은 1km당 2개 이상이면 노변 마찰이 큰 곳으로 정하였으므로 정류장에서 차로변경완료 지점까지의 길이가 500m 이하인 곳으로 선정 하였다. 마지막으로 버스의 운행 빈도가 높고 첨두 교통량이 많아 상습적으로 정체가 발생하는 교차로 진입로를 대상으로 선정하였다.

기준에 따라 서울시 관악구 봉천로 사거리에 위치한 노변 정류장에서 약 61m지점인 교차로 시작점을 첫 번째 분석 구간으로 선정하였고 분석구간 내에서 버스는 북쪽에서 남쪽방향인 사거리 쪽으로 진행한 후에 교차로 근처 61m 지점의 노변정류장에 정차 한 후에 좌회전하여 동쪽으로 진행하는 3개의 엇갈림 버스노선이 운행하고 있으며 주기는 첨두시 신호주기는 140초 이다. 차로 수는 5차로로 총4번의 차로변경이 필수적으로 발생하며 교통량은 첨두시 시간당 2092대 이며 해당 분석대상지점은 [그림4-1]과 같다. 봉천로 사거리는 복수의 노선이 엇갈림을 일으키고 있으며 필요한 차로 변경수도 2회 이상, 4회 이하로 많은 편이며 오전 및 오후 첨두시에 출퇴근 교통량이 많아 혼잡이 심화되는 구간이다.



[그림 4-1] 봉천로 사거리

두 번째로 선정된 분석 대상 구간은 서울특별시 영등포구 보라매역에 위치한 북측 진입로 노변 정류장을 선정하였고 북쪽에서 교차로 쪽으로 진행한 후에 교차로 근처 190m 지점의 노변정류장에 정차 한 후에 좌회전하여 동쪽으로 진행하는 3개의 엇갈림 버스노선이 운행하고 있으며 첨두시간의 주기는 180초로 비교적 긴 편이다. 차로 수는 3차로로 1~2번의 차로변경이 발생하며 해당 분석대상지점은 [그림4-2]와 같다. 보라매역 사거리의 경우 첨두시 교통량이 많고 복수의 노선이 엇갈림을 일으키고 있으며 오전 및 오후 첨두시에 출퇴근 교통량이 많아 혼잡이 심화되는 구간이다.



[그림 4-2]보라매역 사거리A

세 번째로 선정된 분석 대상 구간은 서울특별시 영등포구 보라매역에 위치한 서쪽 진입로 노변 정류장을 선정하였고 서쪽에서 교차로 쪽으로 진행한 후에 교차로 근처 190m 지점의 노변정류장에 정차 한 후에 좌회전하여 남쪽으로 진행하는 1개의 엇갈림 버스노선이 운행하고 있으며 첨두시간의 주기는 180초로 비교적 긴 편이다. 차로 수는 3차로로 1~2번의 차로변경이 발생하며 해당 분석대상지점은 [그림4-3]와 같다. 보라매역 사거리B의 경우 첨두시 교통량이 비교적 많지 않은 편이지만 우회전하는 다수의 버스노선이 존재하여 첨두시에 혼잡이 발생한다. 또한 우회전 교통량 및 버스에 의한 정체로 3차로의 교통류가 매 주기마다 포화상태와 자유 교통류 상태를 반복한다.





[그림 4-3] 보라매역 사거리B

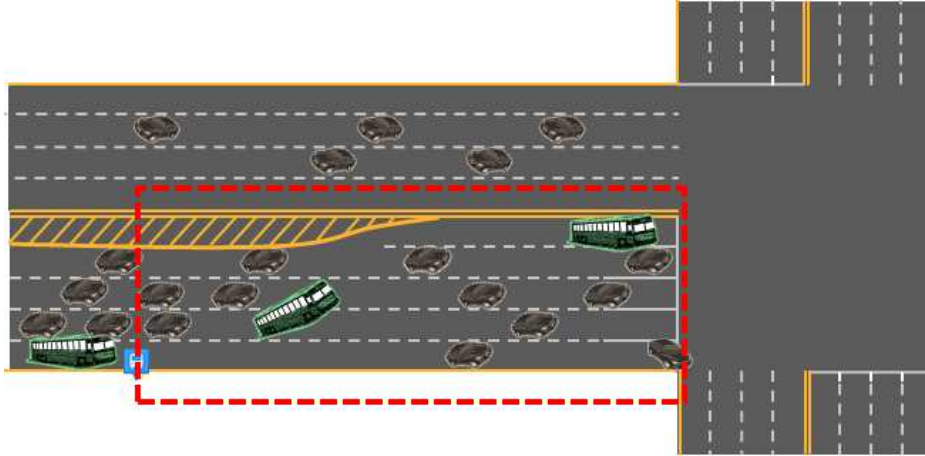
현장조사를 통해 위 세 지점을 포함한 10개 지점에 대한 현장자료를 구득하였다. 분석 대상 지점은 이수역 사거리, 상도역 사거리, 대치역 사거리, 신림 사거리 등이 있으며 조사된 지점에 대한 개요는 <표4-1>와 같다.

장소	방향	노선번호	차로수	이격 거리(m)	주기
보라매역 교차로A	SB	6513 6514 6516	3차로	190	180
보라매역 교차로B	WB	5536	3차로	77	180
신대방 삼거리역 교차로	NB	153 461 6513 6514, 6516	3차로	162	140
노량진역 교차로	WB	동작02 동작11	4차로	108	140
봉천로 사거리	SB	5524 641 650	5차로	61	160

<표 4-1> 현장조사 지점 개요

#### 4.3 데이터 수집 방법

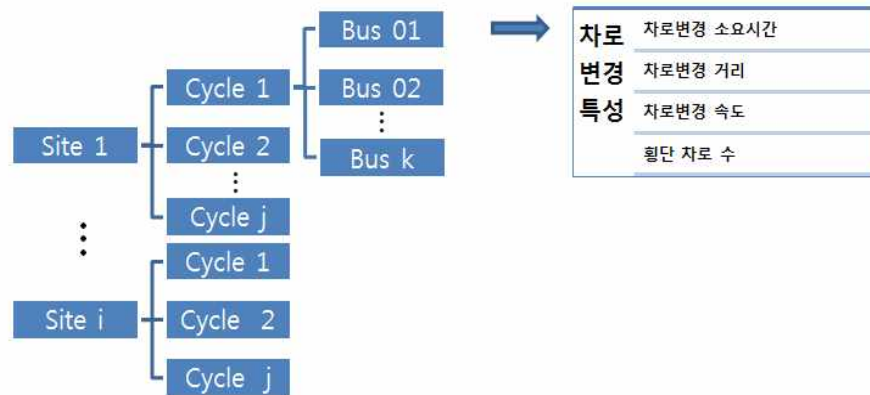
이격 거리와 차로 변경 완료 지점을 양끝으로 하는 구간을 분석의 범위로 하여 지상 15~30m 높이에서 비디오 촬영하였고, 영상 분석은 Adobe Premiere Pro 를 이용하여 초당 30 프레임 단위로 분석하였다. 버스 차로변경 특성 변수의 경우 구간 내에서 발생하는 버스의 차로 변경 행태를 통해 구득하였고, 교통량 혼잡변수 또한 주기별로 구간 내에서 존재하는 차량의 대수를 카운트하여 반영하였다.



[그림4-4] 데이터 수집범위

#### 4.4 데이터 가공 방법

각 지점별로 주기를 기준으로 시간을 분할하여 각각의 주기 내에 발생하는 버스 차로 변경에 대해 차로 변경 속도, 차로 변경 거리 등 데이터를 수집하였다. 밀도의 경우, 이격 거리 내의 차량에 대한 밀도를 산정한 후 이격 거리와 차로 수로 나눠주어 각각의 구간에 대하여 표준화된 값을 적용하였다.



[그림 4-5] 데이터 가공법

#### 4.5 Data set 구성

Data set 구성은 <표4-2>와 같으며 1행마다 버스1대의 차로변경시간과 속도 이격 거리, 차로수, 주기 시작 차량대수, 진입 차량대수, 진출 차량대수, 주기 종료 차량대수, 주기종료시 밀도, 횡단차로수, 차로수의 정보가 한묶음을 데이터를 이루며 같은 주기에서 발생한 차로변경에 대해서는 교차로 혼잡특성에 해당하는 주기 시작 차량대수, 진입 차량대수, 진출 차량대수, 주기종료 차량대수, 주기종료시 밀도가 같은 값을 가지며 같은지점에 대하여 이격 거리 및 차로수가 동일하다.

장소	시간 (초)	Ln (시간)	속도	이격 거리	차로 수	주기 시작 대수	in	out	주기 종료 대수	주기종료 밀도	횡단 차로수
노량진	7.56667	2.02375	6.48	108	4	24	55	64	15	0.03472	1
노량진	4.46667	1.49664	4.03	108	4	24	55	64	15	0.03472	1
노량진	2.56667	0.94260	6.62	108	4	24	55	64	15	0.03472	1
노량진	3.53333	1.26224	5.09	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	6.93333	1.9363	7.79	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	4.7	1.54756	9.79	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	3.66667	1.29928	7.36	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
노량진	5	1.60943	9	108	4	15	52	57	10	0.023147	1
보라매	10.2666	2.32890	2.73	190	3	75	99	99	75	0.131578	2

...

보라매	12.4	2.51769	2.82	190	3	78	92	96	74	0.129824	2
보라매2	10.3	2.33214	2.72	77	3	36	41	39	38	0.164505	2
보라매2	8.1	2.09186	2.1	77	3	38	41	52	27	0.116882	2
보라매2	12.4333	2.52038	4.66	77	3	32	43	35	40	0.173162	2
보라매2	4.33333	1.46633	12.69	77	3	38	35	44	29	0.125538	2
봉천로	5.6	1.72276	18	61	5	37	75	56	56	0.183605	1
봉천로	13.6333	2.61251	9.77	61	5	37	75	56	56	0.183605	1
봉천로	6.1	1.80828	9.44	61	5	37	75	56	56	0.183605	1
봉천로	11.5	2.44234	13.15	61	5	37	75	56	56	0.183605	2

<표 4-2> Data set 예시

## 제5장 분석결과

### 5.1 기술 통계량

4장에서 선정한 변수들에 대해서 기술통계량을 분석 한 결과, 종속변수로 설정한 차로변경 소요시간이 평균대비 분산이 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 차로 변경시간이 4장에서 언급한 여러 가지 요인에 의해서 다양한 값을 가지는 것으로 해석 할 수 있다. 모든 변수에 대한 구체적인 기술통계량은 <표 5-1>과 같다.

N=272	최솟값	최댓값	Mean	Std. dev.
차로변경시간	2.57	94.93	11.65	11.04
차로변경속도	0.43	27.75	6.56	5.36
이격 거리	76.0	245.0	135.70	48.11
주기 종료 시 밀도	0.027	0.197	0.087	0.06
횡단 차로 수	1	3	1.42	0.59

<표 5-1> 기술통계량

### 5.2 모형추정결과

설정된 변수에 의해 모형을 추정한 결과 3가지 모형을 만들 수 있었으며, 세 가지 모형은 각각 수정된 결정 계수 값이 높은 모형을 선정기준으로 하였으며 차로변경의 효과를 다양한 각도에서 해석하기 위하여 최대한 다양한 변수를 포함하도록 하였다.

모형1은 모든 변수를 적용시킨 모형으로 수정된 결정계수 값은 0.731로 설명력이 높게 추정되었지만 이격 거리 변수의 부호가 반대로 추정되었고 유의성 검정에서도 변수가 무의미하게 추정 되었으므로 이 모형은 최종모형에서 제외

한다. 모형의 형태는 다음 식과 같고 구체적인 통계 값은 <표5-2>와 같다.

$$Y_{\text{Ln(차로변경시간)}} = 1.473 - 0.633X_1 + 0.431X_2 + 3.680X_3 + 0.235X_4 + 0.0009X_5$$

수정된 $R^2 = 0.731$	구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	공선성 통계량		AIC
상수	-	1.473	0.2924	5.036	0.000	공차	VIF	58.18
Ln(차로변경속도)	$X_1$	-0.633	0.0365	-17.296	0.000	0.663	1.509	
횡단 차로 수	$X_2$	0.431	0.0611	7.051	0.000	0.940	1.064	
주기종료 시 밀도	$X_3$	3.680	0.4113	8.947	0.000	0.826	1.210	
차로수	$X_4$	0.235	0.0550	4.275	0.000	0.241	4.150	
이격 거리	$X_5$	0.0009	0.0009	1.053	0.633	0.284	3.524	

<표 5-2> 모형1에 대한 통계 값

모형2는 모든 독립변수에서 샘플수가 확보 되지 않아 통계적으로 강력한 추정이 어려운 기하구조 특성인 차로 수와 이격 거리 변수를 제외하여 구성한 모형으로 수정된 결정계수 값이 0.6990으로 추정되었고 변수 간 부호 추정과 유의성 검정도 강력하게 유의한 값이 추정되었지만 기하구조에 대한 해석이 불가능한 단점을 가지므로 최적모델에서 제외한다. 모형의 형태는 다음 식과 같고 구체적인 통계 값은 <표5-3>와 같다.

$$Y_{\text{Ln(차로변경시간)}} = 2.145 - 0.523X_1 + 0.300X_2 + 4.578X_3$$

수정된 $R^2 = 0.6990$	구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	공선성 통계량		AIC
상수	-	2.145	.093	23.167	0.000	공차	VIF	78.81
Ln(차로변경속도)	$X_1$	-0.523	.032	-16.154	0.000	0.981	1.019	
횡단 차로 수	$X_2$	0.300	.041	7.365	0.000	0.986	1.014	
주기종료 시 밀도	$X_3$	4.578	.405	11.311	0.000	0.992	1.008	

<표 5-3> 모형2에 대한 통계 값

모형3은 모든 독립변수에서 차로수 만을 제외한 모형으로 수정된 결정계수 값은 0.7074으로 추정되었다. 차로수 변수를 반영 할 수 없지만 이격 거리 변수를 설명할 수 있는 변수가 추가되어 모형을 바탕으로 적정 이격 거리를 추정 하는데 활용 할 수 있다. 또한 모든 변수의 부호가 정확하게 추정되었고 유의성 검정에서 강력한 값이 추정 되었으므로 이 모형을 최적모델로 선정한다. 모형의 형태는 다음 식과 같고 구체적인 통계 값은 <표5-4>와 같다.

$$Y_{\text{Ln(차로변경시간)}} = 2.551 - 0.580X_1 + 0.274X_2 + 4.417X_3 + 0.002X_5$$

수정된 $R^2 = 0.7074$	구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	공선성 통계량		AIC
상수	-	2.86	0.228	12.558	0.000	공차	VIF	70.45
Ln(차로변경속도)	$X_1$	-0.53	0.028	-18.72	0.000	0.746	1.340	
횡단차로 수	$X_2$	-0.15	0.042	-3.468	0.000	0.945	1.058	
주기종료 시 밀도	$X_3$	4.05	0.326	12.444	0.000	0.889	1.125	
이격 거리	$X_5$	0.30	0.028	10.904	0.000	0.671	1.491	

<표 5-4> 모형2에 대한 통계 값



### 5.3 모형의 활용

추정한 최적 모형을 바탕으로 주어진 밀도와 차로변경 속도 조건에서 횡단해야 하는 차로수가 1차로씩 증가함에 따라 필요한 적정 이격 거리를 산출하였다. 차로변경 시간 기준 값은 비침두시에 촬영한 노량진의 평균차로변경시간 값을 사용 하였고 차로변경 속도는 모든 차로 변경 값의 평균값을 사용하였고 주기 종료 밀도는 정체 상황을 표현하기 위하여 주기 종료 시 밀도 값 중 가장 높은 값을 적용 하였다. 추정결과 적정 이격 거리는 <표5-5>와 같고 횡단 차로수가 증가할수록 1차로가 늘어남에 따른 추가 이격 거리의 크기는 커지는 것으로 나타났다.

차로 변경 시간 기준값 (비침두 평균값)	차로 변경 속도(m/s)	주기 종료 시 밀도 (대/m)	횡단 차로 수	적정 이격 거리(m)	급간 차이
7.58초	6.56	0.197	1	273.1	142.4
			2	415.5	142.5
			3	558.0	
			4	700.4	142.6

<표 5-5> 모형3으로 적정 이격 거리를 산정한 결과 값

## 제6장 결론 및 향후 과제

### 6.1 결론

본 연구에서는 노선버스의 엇갈림 현상이 일어나는 도시부 신호교차로에 대해서 신호특성, 교통류 특성, 기하구조 특성, 차로변경 특성을 반영하여 노변 버스정류장에 좌회전차로로 연속적인 차선변경의 하는 버스의 차로변경의 영향요소를 분석하였다. 분석 자료는 동영상 자료를 통해 구득하고 adobe premier pro 동영상 편집 패키지를 활용하여 영상으로부터 신호특성, 교통류 특성 차로변경 특성을 추출하는 과정을 거친뒤 통계패키지 프로그램 R을 이용하여 회귀분석을 수행 하였다.

분석 결과 종속변수인 차로변경시간에 대하여 차로변경특성인 차로변경 속도, 횡단 차로수가 선택되었고, 교통류 특성으로 주기종료 밀도, 기하구조 특성으로 교차로에서 차로변경 완료지점 간 이격 거리가 선정되었다. 기하구조특성 중의 하나인 차로 수는 설명변수에서 제외 되었다.

차로변경 속도의 영향은 차로변경속도가 증가할수록 차로변경 시간이 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 구간의 혼잡이 심하지 않을 때 버스가 상대적으로 자유롭게 차로변경을 할 수 있으므로 목표차로의 속도까지 손쉽게 가속할 수 있는 환경에서 그렇지 않을 때 보다 긴 거리를 주행하면서 빠르게 차로변경을 수행하게 된다. 따라서 차로변경속도는 증가하고 차로변경 시간은 감소하는 결과가 나타난다.

밀도의 영향은 밀도가 증가할수록 버스의 차로변경 시간이 감소하였는데 이는 밀도가 증가하여 교차로가 혼잡한 상태가 되면, 버스의 차로변경을 위한 간격의 크기와 빈도수가 감소하게 된다. 따라서 버스가 Nosing을 하거나 간격을 찾기 위해 교차로에 정지 상태로 일정시간 대기하는 시간이 발생하며 이에 따

른 차로 변경 소요시간이 크게 증가 하는 것으로 나타났다.

횡단 차로 수에 대한 버스의 차로 변경 시간은 횡단차로수가 증가함에 따라 증가하는 추세를 보였으며 1차로의 추가 횡단이 발생 할 때 마다 확보 되어야 할 이격 거리가 추가적으로 필요 하며, 이 거리가 확보될 경우 일정한 수준의 차로변경시간을 유지할 수 있는 것으로 분석되었다.

## 6.2 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구에서 차로변경시간에 대하여 교통류 및 기하구조, 차로변경 특성을 모형추정을 통해 분석한 결과 교통류 특성과 차로변경 특성의 영향은 강력하게 추정된 반면 기하구조에 대한 영향은 비교적 미비하게 추정된 경향이 있다. 이는 전체 대상 구간 중 10개 구간을 분석할 결과 값이므로 기하구조 다양성의 반영에 한계를 가진다. 따라서 추가적으로 지점조사가 필요하다.

또한 본 연구의 모형의 결과 교통량 변수가 가장 중요한 요소로 나타났는데 현재 운영되고 있는 버스 정류장의 평가에 그치지 않고 현실적인 정류장 위치 개선을 위한 지침으로 활용하기 위해서는 모형 계수 추정에서 이격 거리에 대한 비중이 높여야 한다. 또한 버스 차로 변경을 원인으로 발생한 지체가 구간 전체의 지체에 미치는 영향을 분석하는 연구가 진행되어 연구의 완성도를 높일 필요가 있다.

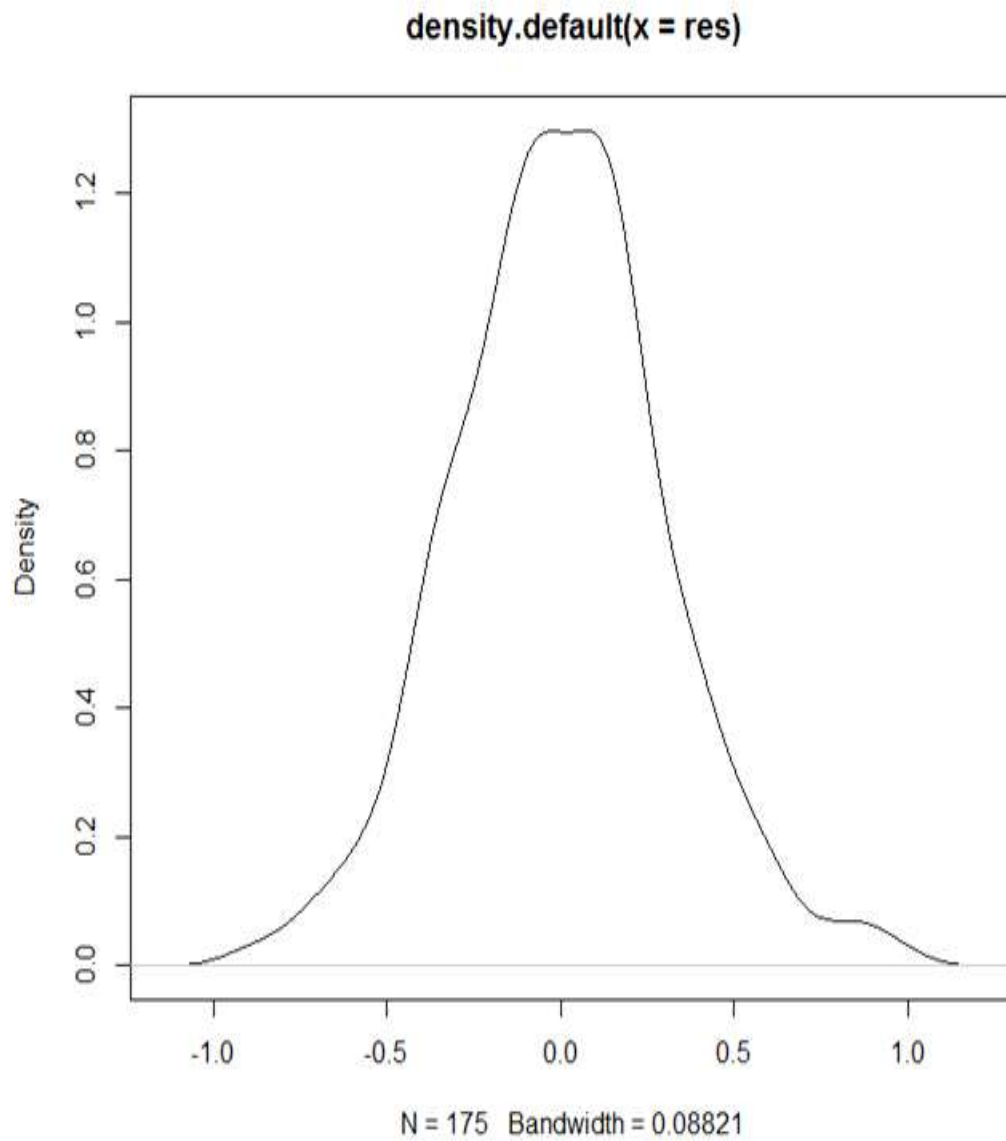
## 참고문헌

1. 국토해양부, “도로 구조·시설 기준에 관한 규칙”, pp.129-629, 2011.
2. Chen C., Yu L., Zhu L., Guo J. and Sun M. “Microscopic Traffic Simulation Approach to the Capacity Impact Analysis of Weaving Sections for the Exclusive Bus Lanes on an Urban Expressway”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 136, No. 10, 2010.
3. Drew, D.R., Lamotte, L.R., Buhr, J.H. “Wattleworth, J.A. Gap acceptance in the freeway merging process”. HRR 208, pp. 1-36, 1967.
4. Ha T. J., Park J. J., Lim H. Y., "Determination of the Required Minimum Spacing between Signalized Intersections and Bus-Bays", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 20, No. 4, Korean Society of Transportation, pp.73~82, 2008.
5. Jang J. A., Lee J. W., Choi K. J. “A Gap-acceptance Model Considering Driver’s Propensity at Uncontrolled Intersection”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 26, No. 6, Korean Society of Transportation, pp.71~80, 2008.
6. Kang H. I., Park C. H. “Development of Classified Congestion Functions”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.16, No.2, Korean Society of Transportation, pp.117-135, 1998.
7. Kim W. K., Kim B. J., Park M. K. “Development of Shock Wave Delay Estimation Model for Mixed Traffic at Unsaturated Signalized Intersection”, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.6, Korean Society of Transportation, pp.75-84, 2010.

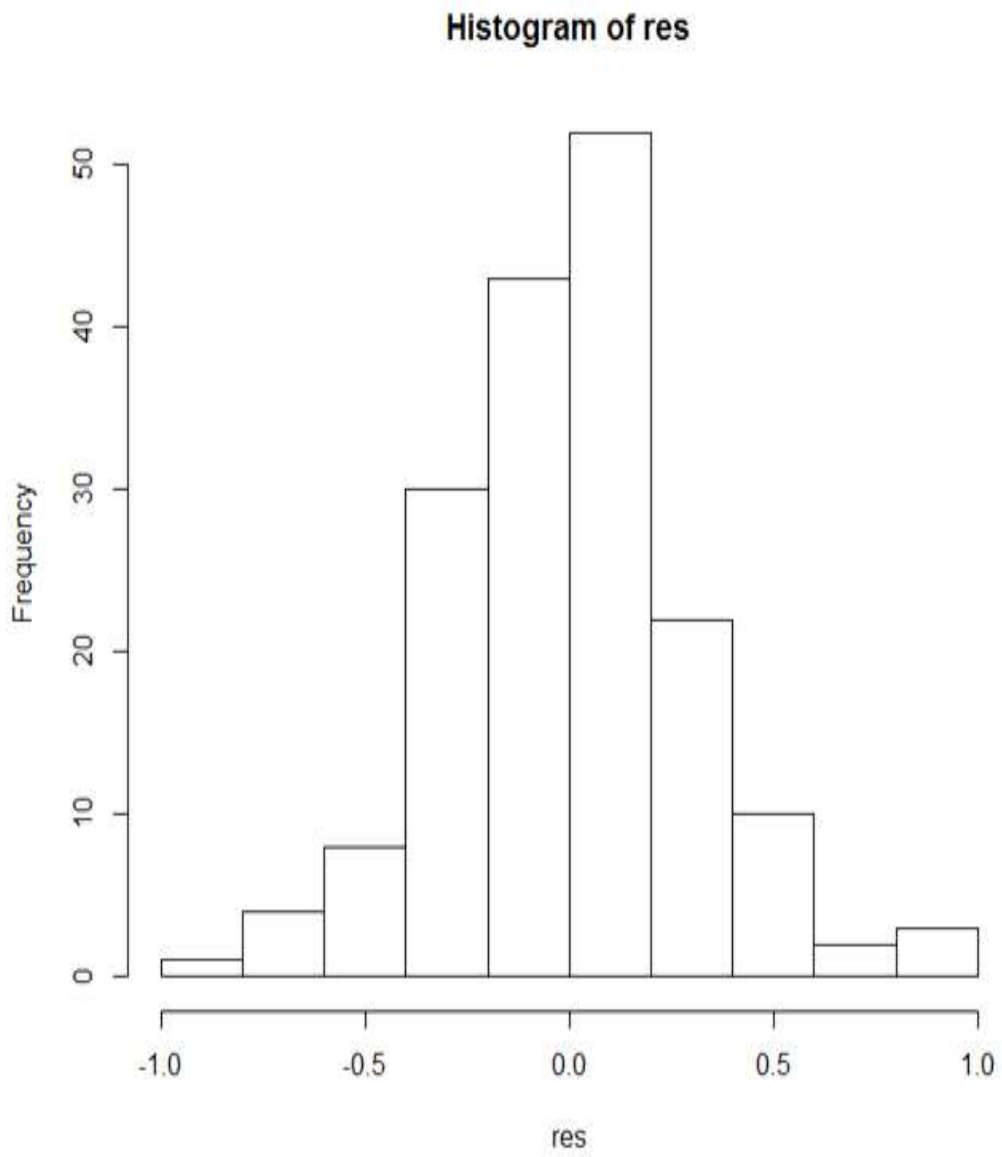
8. Knox, D.W. "Merging and weaving operations in traffic. Australian Road Research, Vol. 2, pp.10-20, 1964.
9. Korean Society of Transportation. Highway Capacity Manual, pp.64-536, 2013
10. Kremser, H., "A complex problem of delay with Poisson traffic flow". Oesterreichisches Ingenieur Archiv (Austrian Engineering Archive), Vol. 16, 1962.
11. Lee J. H., Kwon S. D., Park J. J. and Ha T. J. "A Method for Locating Bus Stop Considering Traffic Safety at Signalized Intersections", Journal of Korean Society of Civil Engineering , Vol.31, No.4D, Korean Society of Civil Engineering , pp.527-538, 2011.
12. Oh S. J., Park S. H., Park B. H. "Development of Travel Time Functions Considering Intersection Delay", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.4, Korean Society of Transportation, pp.76-63, 2010.
13. Yang C. S., Mattingly S. P., Kim H. W. and Kwon Y. J. Design Guideline Development for Managed Lane Access Spacing Using Gap Acceptance Theory, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.4, Korean Society of Transportation, pp.177-185, 2010.
14. Yang C. S. "A Study on the Safety-Maximizing Design of Exclusive Bus Lanes", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.30, No.4, Korean Society of Transportation, pp.21-32, 2012.

부록. AIC 반영을 위한 추정모형 잔차의 정규성 검정

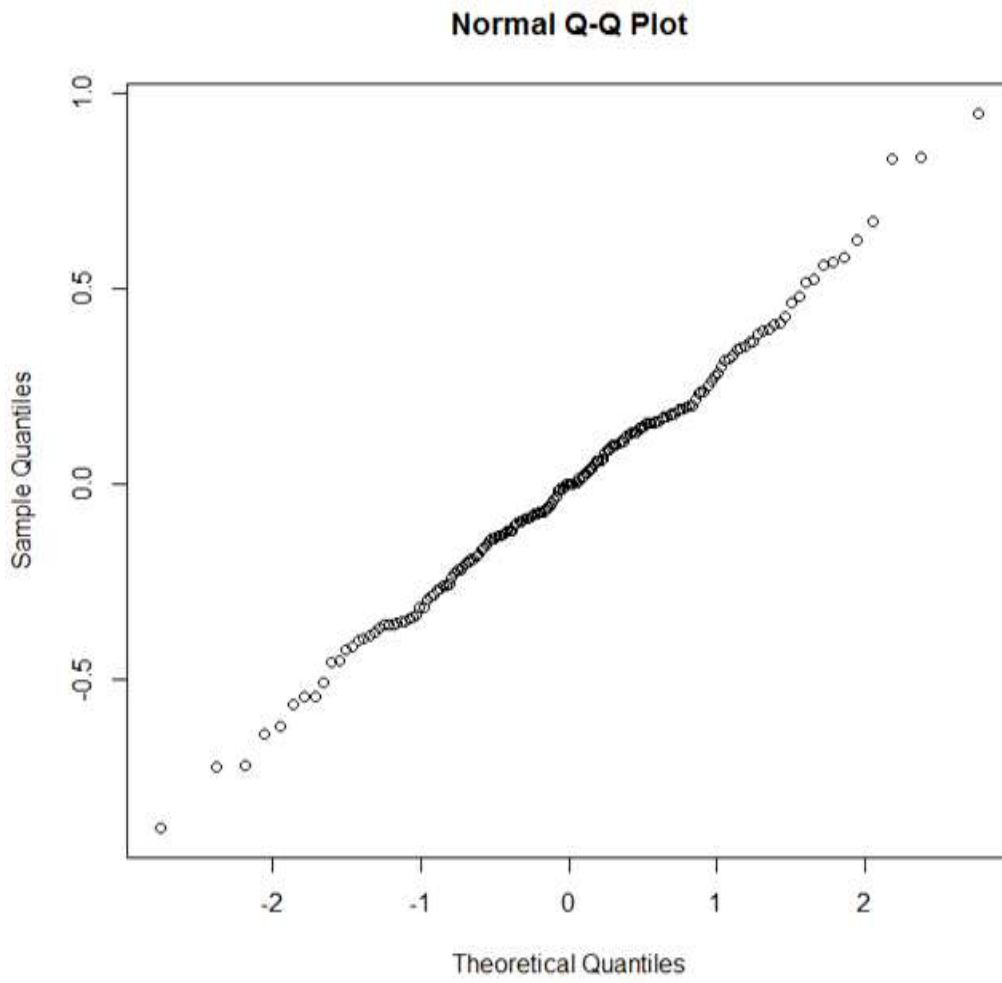
[부록 1] Density of Residuals



[부록 2] Histogram of residuals



[부록 3] Normal Q-Q Plot





## ABSTRACT

### Estimation of Appropriate Separation Distance between Road-side Bus Stop and Signalized Intersection Considering Traffic Density of Intersection Approach

Park, Se Hwan  
Department of Civil and Environmental Engineering  
The Graduate School  
Seoul National University

This study dealt with bus lane change occurring within signal intersections. The objective was to develop execution time models for bus lane change by using multiple regression models. In pursuing the above, this study used a statistical program R i386 3.0.2 to accommodate data from 272 bus lane changes occurred within 10 intersections of Seoul. In addition, appropriate bus stop spacing were calculated. The main results are as follows. First, lane change speed and bus stop spacing were analyzed negative linear relationship with bus lane change time. Second, lane change time exponentially increase with density and number of lanes crossing. Third, applying non-peak data to the model, estimation result is as follows. appropriate bus stop spacing is 273m at two-lane road, and 142m of additional spacing is needed when 1 lane is added.

Keyword : Bus lane change maneuver, Bus stop location, Interrupted  
flow, Multiple linear regression

Student Number : 2012-20902